

# La sonoridad arquitectónica latente bajo nuestros pies

Diseño de paisaje sonoro en espacio público urbano

Tesis para optar al grado de Master en Arquitectura

Autor: Arqto. Sergio Cortés Pizarro

Tutor: PhD. Arqto. Francesc Daumal i Domènech

Co-tutora: PhD. Arqto. Cristina Parda March



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

---

**Escola Tècnica Superior d'Arquitectura  
de Barcelona**

Máster en Estudios Avanzados en Arquitectura - Barcelona

Innovación Tecnológica en Arquitectura

Barcelona, julio de 2018



## AGRADECIMIENTOS

*A mi tutor Francesc Daumal, por compartir su conocimiento y entusiasmo sobre acústica arquitectónica y su dimensión poética. Nuestras conversaciones fueron decisivas para la motivación de este trabajo.*

*A mi co-tutora, Cristina Pardal, que se esforzó en cada reunión por gestionar las ideas y pensamientos (sobre todo poéticos) que me surgieron en este trabajo.*

*Al profesor y director del máster ITA, Adrián Muros, por sus gestiones durante el proceso de esta tesis.*

*Al profesor Jaume Roset, que aceptó colaborar con equipos de medición y explicaciones de fórmulas.*

*A Josep Cerdà (director del Máster en Arte Sonoro, Universidad de Barcelona) y Martí Ruiz (profesor del Máster en Arte Sonoro, UB), que aportaron sobre aspectos musicales y artísticos de la propuesta.*

*A mis amigos de tesis Angélica, Jaime e Isabel, por esas largas y agradables conversaciones.*

*A los amigos y amigas del máster que estuvieron cerca durante el desarrollo de este trabajo, especialmente Jean, Emi, Silvia, Coni, Dani, David, Octavio y Carlos.*

*A mis amigos en Chile, me hicieron sentir cerca siempre.*

*Y especialmente agradezco a mi familia. El logro de este trabajo está dedicado a ellos, quienes a pesar de la distancia están siempre a mi lado. Los quiero mucho.*





<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	..... 7
Motivaciones	..... 7
Objetivo	..... 8
Metodología	..... 8
 <b>CAPÍTULO II: ELEMENTOS SONOROS EN EL ESPACIO PÚBLICO</b>	 ..... 9
2.1 El paisaje sonoro urbano. Generalidades del sonido.	..... 9
2.2 La sonoridad en el espacio público	..... 13
2.3 Situaciones	..... 16
 <b>CAPÍTULO III: ORQUESTACIÓN ARQUITECTÓNICA</b>	 ..... 18
3.1 Sonoridad musical: desglose de los instrumentos musicales	..... 18
3.1.1 Clasificación general	..... 18
3.1.2 Sistema de generación del sonido	..... 19
3.1.3 Análisis de instrumentos musicales	..... 23
3.1.4 Espacialidad del sonido	..... 26
3.1.5 Análisis de espacialidades	..... 27
3.2 Interacción sonora y espacio público: casos de estudio	..... 29
3.3 Conclusiones parciales	..... 39
 <b>CAPÍTULO IV: CANCIÓN DEL POZO EN PLAZA CATALUNYA. PROPUESTA DE SONORIDAD URBANA</b>	 ..... 40
4.1 Definición de situación urbana de interés según aspectos sonoros.	..... 40
4.2 Pozos de ventilación: generalidades y situación en Barcelona	..... 42
4.2.1 Situación general	..... 42
4.2.2 Pozos de ventilación de Metro de Barcelona: funcionamiento general	..... 43
4.3 Pozo de ventilación en Plaza Catalunya	..... 45
4.4 ¿Cómo generar sonoridad arquitectónica en espacio público?	..... 54
4.5 Desarrollo de propuestas de elementos sonoros urbanos	..... 55
4.5.1 Pozo de ventilación: identificación de roles sonoros	..... 55
4.5.2 Propuestas de sistemas generadores de sonido urbano	..... 58
4.5.2.1 Idiófonos	..... 59
4.5.2.2 Membranófonos	..... 60
4.5.2.3 Cordófonos	..... 61
4.5.2.4 Aerófonos	..... 62
4.5.3 Propuesta final. Variantes.	..... 64
4.6 Consideraciones finales: afinación de la propuesta	..... 68
 <b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES</b>	 ..... 70
 <b>ANEXOS</b>	 ..... 73



# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

*"Sé que, por lo general, un estudiante no tiene miedo de afrontar la vida; que, por el contrario, bufa de impaciencia. Los tormentos, los peligros, las amarguras de la vida de un hombre no intimidan a ningún estudiante"*

*Antoine de Saint-Exupéry, "El Aviador"*

## Motivaciones

Como parte de mi deseo por realizar estudios de postgrado, está la búsqueda de dar cabida al desarrollo de inquietudes personales respecto a la música y su relación con la arquitectura. Como arquitecto, la percepción sobre el fenómeno del sonido se ha vuelto un punto de gran interés y creo que en la música hay una fuente relevante de conceptos y métodos que nuestra disciplina puede aprovechar. Desde el fenómeno físico hasta cuestiones de percepción (desde lo objetivo a lo subjetivo, podríamos decir), junto con el sentido de temporalidad, música y arquitectura se benefician mutuamente. Mi mayor motivación es aprovechar los recursos que esa interacción produce.

Así, volver a ser estudiante se transforma también en motivación. Más aún cuando los contenidos del máster me aproximan a materias donde tienen cabida mis intereses. A través del curso "Paisaje sonoro y acústica arquitectónica avanzada", que

dicta el tutor de esta tesina, encontré los recursos y la inspiración para desarrollar algunas de mis ideas.

Personalmente, resulta relevante plantear la importancia del sentido auditivo frente al óptico en la arquitectura. Lo visual domina muchas veces las decisiones arquitectónicas, pero hay en los aspectos acústicos razones relevantes en cuanto a espacialidades, condiciones de confort, estética y materialidades arquitectónicas. Diseñar conociendo estos criterios puede generar arquitectura de mayor calidad para las personas y el entorno en el que se desarrollan.

Finalmente, creo en la importancia de diseñar la sonoridad que queremos en nuestra arquitectura. No se trata sólo de resolver el problema de ruido, sino de aprovechar los beneficios del sonido y la música en los espacios públicos de nuestras ciudades.

**Objetivo:**

Ilustrar mediante el desarrollo de un caso proyectual que el diseño de sonoridades arquitectónicas puede transformar situaciones urbanas problemáticas, en escenarios deseables.

Se plantea la oportunidad de integrar elementos urbanos residuales como aportes al espacio público de la ciudad.

**Metodología:**

- Estudiar casos y referencias.
- Estudiar funcionamiento de instrumentos musicales, analizando sus partes.
- Generación de un CUADRO DE ANÁLISIS, a utilizar como herramienta.
- Estudiar trama urbana de Barcelona, localizar situaciones de fuentes sonoras, espacios resonadores.
- Valorizaciones del lugar de intervención (documentación disponible, viabilidad, entre otros).
- Generación de PROPUESTAS de diseño utilizando cuadro de análisis.
- Desarrollo de conclusiones.

# CAPÍTULO II: ELEMENTOS SONOROS EN EL ESPACIO PÚBLICO

*"Como una obra de arquitectura, una ciudad puede ser poderosamente inspiradora cuando sus espacios, materiales y geometrías forman un conjunto más estimulante que sus partes individuales"*

*Steven Holl, "Cuestiones de percepción. Fenomenología de la arquitectura"*

## 2.1 El paisaje sonoro urbano. Generalidades del sonido.

En arquitectura, la acústica se encarga de proteger o acondicionar espacios frente a los efectos de los sonidos existentes. Se protege de ruidos o sonidos molestos, dependiendo de su intensidad y duración, entre otras características, que pueden llegar a generar malestar en nuestro sistema auditivo. Por otro lado, se puede acondicionar acústicamente un recinto para incrementar el desempeño sonoro de las fuentes sonoras que contiene, ya sea para usos musicales, laborales, académicos o de vivienda, entre otros. Ambas funciones (proteger y acondicionar) trabajan simultáneamente, pudiendo abordar respuestas acústicas diferenciadas para distintas frecuencias sonoras.

El sonido, en tanto, es un fenómeno físico que en arquitectura es fundamental en la sensación de bienestar de un espacio. En términos generales, el

sonido se produce por la vibración de un elemento que se transmite por un medio físico hasta llegar a un receptor (el humano, por ejemplo) que lo interpreta a través de su sistema auditivo. La velocidad de la vibración, o la cantidad de oscilaciones del elemento en una unidad de tiempo determinada, genera distintas frecuencias que se miden en hertzios (Hz). Existe un amplio espectro de frecuencias en nuestro entorno, desde o hasta varios miles de Hz. El humano es capaz de percibir frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz en promedio. Llamamos "graves" o "bajos" a los sonidos de bajas frecuencias y "agudos" o "altos" a los de altas frecuencias. Existen rangos de frecuencias que son más utilizadas en la música, así como por otras fuentes sonoras como animales o vehículos, de las cuales nosotros percibimos algunas como agradables y otras como molestas.

Otro aspecto es que la física de las ondas generadas por los elementos que vibran depende del medio en que se transmiten. Generalmente percibimos a

(1) Velocidad del sonido. (2018, 15 de junio). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: junio 28, 2018 desde [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Velocidad\\_del\\_sonido&oldid=108716664](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Velocidad_del_sonido&oldid=108716664).

través del aire los sonidos de nuestro alrededor, ya que el oído está especializado para interpretar en ese medio. Sin embargo, es posible escuchar bajo el agua (líquido), además de casos documentados de personas sordas que pueden percibir vibraciones con su cuerpo (sólidos). Sin ahondar en estas particularidades, el sonido se propaga a través de los materiales, ya sean gaseosos, líquidos o sólidos, a distintas velocidades. En el aire, la velocidad del sonido es de 340 m/s aprox., mientras que en el agua es de 1500 m/s. En los sólidos es variable, siendo en la madera de 3700 m/s, en el hormigón de 4000 m/s y en el acero de 6100 m/s, por nombrar algunos ejemplos (1). De este modo podemos inducir que existen distintas acciones que generan ondas en los materiales, como golpes o presiones que los hacen vibrar. Incluso la interacción entre distintos materiales o estados de la materia permiten que el sonido se transmita entre ellos, produciendo situaciones complejas y confusas en la percepción de los sonidos. Como señala Daumal, “normalmente, el medio de propagación del mensaje sonoro es el aire que separa la emisión del receptor. También se han de tener en cuenta el suelo y los demás componentes estructurales o de acabados arquitectónicos que lo rodean” (2).

Junto con lo anterior, la intensidad del sonido varía desde imperceptible hasta ruidos insoportables. Los decibeles (dB) miden la presión sonora,

variando del rango entre 0 dB hasta +180 dB, nivel que produce daños en nuestro oído. Varía exponencialmente, no de manera lineal, lo que provoca que una diferencia de 2 ó 3 dB sea equivalente a los niveles entre abrir o cerrar una ventana hacia el exterior de una calle transitada. En este sentido, la geometría de las superficies y la densidad de los materiales cobra protagonismo para obtener absorción o reflexión de los sonidos.

Con lo anterior, se puede establecer que la acústica arquitectónica busca administrar la percepción del sonido en búsqueda del bienestar humano. Se basa en el manejo de estrategias formales y materiales que responden al sonido que se enfrenta. Nuestra percepción de un lugar entonces se verá mejorada gracias a que los sonidos se oyen bien y/o los ruidos han sido aislados, sin embargo sólo estamos respondiendo a sonidos que, en la mayoría de los casos, no son parte de la arquitectura. Nos acercamos entonces al paisaje sonoro, concepto que se enfoca en valorar las características sonoras de un lugar.

El paisaje sonoro es un término acuñado por Raymond Murray Schafer en 1977 (3), cuando denominó “*soundscape*” al ámbito sonoro que percibimos en nuestro entorno. Al considerar los sonidos como elementos constituyentes del paisaje, se produce el cambio de enfoque desde

(2) DAUMAL i DOMÈNECH, Francesc (2007). Creatividad sonora en el pavimento. El paisaje sonoro a nuestros pies. *I Encuentro Iberoamericano sobre Paisajes Sonoros*. Citando a BERGEIJK, W.: L'universo del suono: come udiamo, cosa udiamo. Zanichelli, 1967.

(3) SCHAFER, R. Murray, (1977), “*The Soundscape : our sonic environment and the tuning of the world*”, Rochester, Vermont (EE.UU.). Editorial Destiny Books.

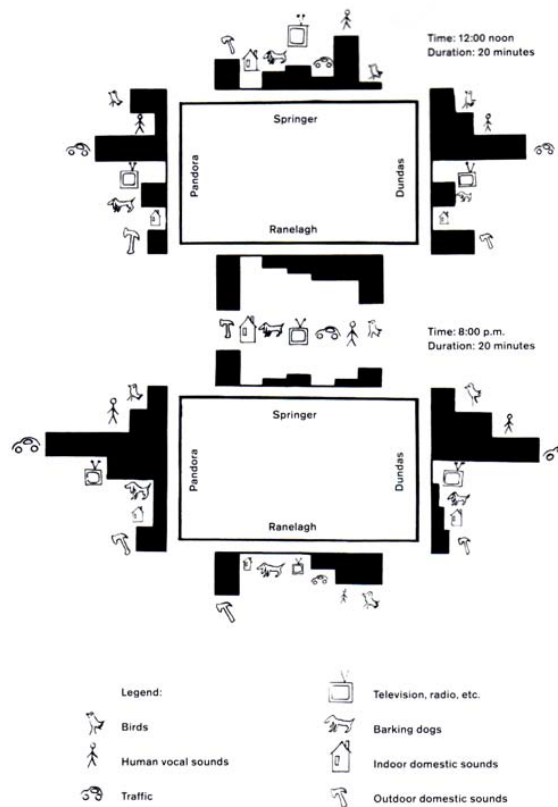
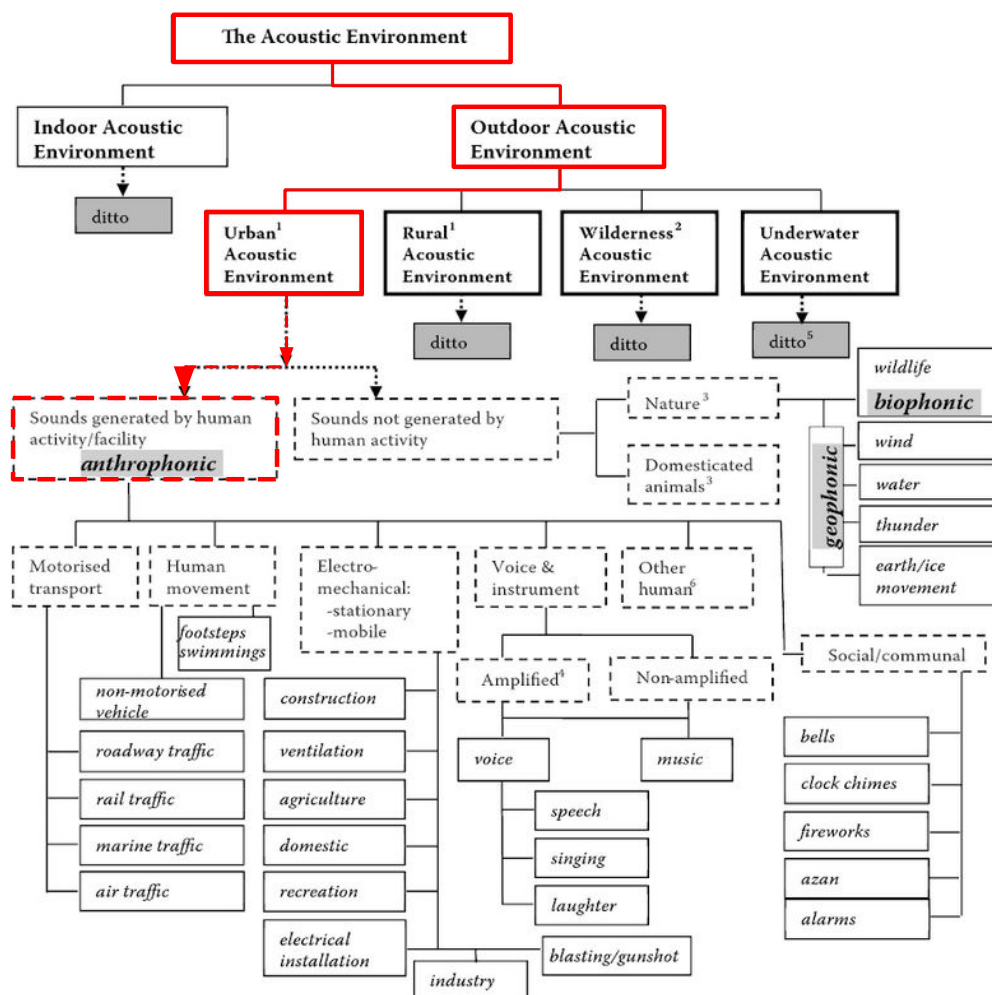


Figura 1: "Sound map of a "listening walk" around a city block made during two different time periods" de M. Schafer.

protegerse del ruido o acondicionar lo existente hacia la promoción de sonoridades que signifiquen un bienestar para las personas. En ese sentido, para la arquitectura se transforma en un desafío que abre interrogantes en torno a cómo queremos que suenen nuestros espacios, tanto en interiores como en el espacio urbano. A la vez, plantea una nueva forma de diseñar, ya no buscando silenciar

sino buscando las voces propias de elementos y situaciones arquitectónicas en nuestro entorno. Además, vuelca la percepción del espacio priorizando nuestro sentido auditivo por sobre el visual, generando posibilidades en la manera en que pensamos, hacemos y vivimos la arquitectura (figura 1).



**Figura 2:** “Esquema de clasificación para categorizar fuentes sonoras en cualquier entorno acústico que puede ser usado para estandarizar fuentes sonoras reportadas a través de diferentes estudios. Para cada campo mostrado en las cajas de líneas gruesas (urbano, natural, naturaleza y acuática), existe un conjunto idéntico de *categorías de fuentes sonoras* mostradas en las cajas de líneas punteadas, junto con ejemplos de *fuentes sonoras* en las diferentes categorías (cajas sólidas)” (Libro “*Soundscape and the Built Environment*”, editado por Jian Kang, Brigitte Schulte-Fortkamp. 2016. CRC Press. Imagen recuperada de Google Books, books.google.es)

Sobre esquema, se identifica en rojo el ámbito sonoro de espacio público urbano (o sonidos antropofónicos) que se desarrolla en este TFM (intervención de elaboración propia).



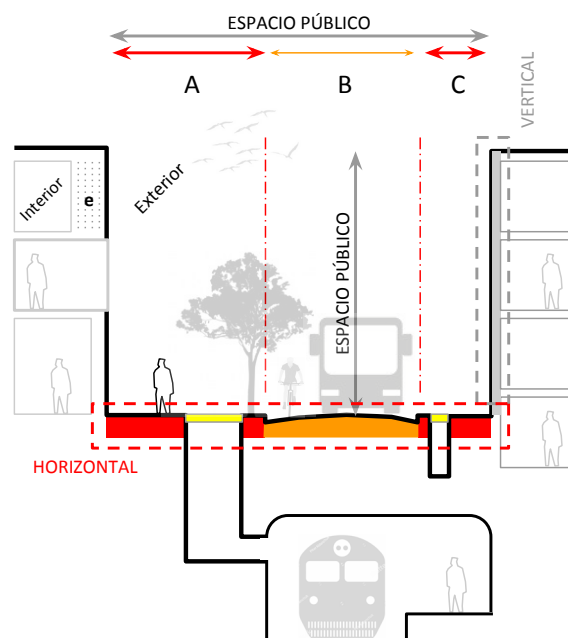


Figura 3: relaciones de situaciones interiores y exteriores en el espacio público. Esquema de elaboración propia.

## 2.2 La sonoridad en el espacio público

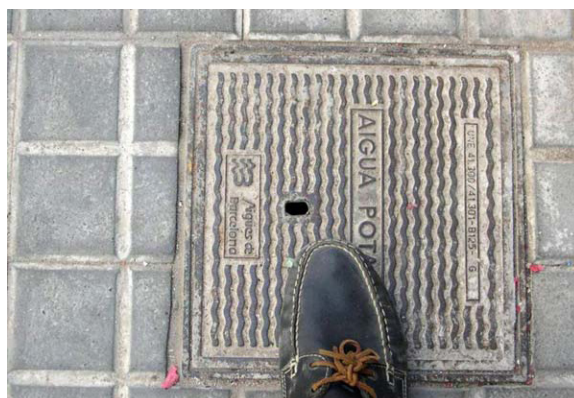
El ámbito del paisaje sonoro es principalmente el espacio exterior. Si bien se puede hablar de paisajes interiores, el concepto de paisaje (en inglés, *landscape*, que se refiere a *land*- como el entorno o territorio) lo entendemos tradicionalmente referido a lo natural. Aun así, hoy está aceptado hablar de paisaje urbano, natural o sonoro (entre otros), mostrando la especificidad que se ha desarrollado en cada ámbito relacionado a nuestro entorno (figura 2).

Este trabajo se enfocará en el paisaje sonoro urbano, refiriéndose al entorno construido que conforma espacios públicos en la ciudad y, por lo tanto, el ámbito sonoro que ahí ocurre. Como tal, el espacio público se entenderá como el configurado a partir de las características de sus envolventes. Tanto envolvente vertical como horizontal presentan características particulares, a la vez que **ambas funcionan como un borde que delimita situaciones interiores y exteriores, con respuestas específicas para cada ámbito** (figura 3).

La envolvente sirve de soporte para muchas funciones, siendo variable su entendimiento y definición en términos geométricos, espaciales o materiales. **Lo que define una envolvente depende tanto de la cantidad de funciones a las que responde como a la percepción que nosotros hagamos de ella.** La envolvente del espacio público serán fachadas y suelos, con todos los elementos que en ellas existen: ventanas, puertas, rejillas, pavimentos, vegetación, así como también variaciones geométricas como desniveles, texturas y cavidades, junto con juegos volumétricos entre lleno y vacío, transparencias y opacidades, grosores, temperaturas, luz y muchas interacciones más.

Sin embargo, **es en el plano horizontal donde se produce mayor interacción física con las personas.** Si bien en fachada existen umbrales de traspaso, vanos, aberturas y cerramientos, éstas tienden a ser elementos atractivos hacia el espacio público. En cambio, en el suelo tendemos a generar superficies homogéneas y que faciliten la circulación, olvidando que muchas veces la envolvente horizontal (tal como una fachada) separa el espacio público exterior con espacios interiores bajo tierra o con sistemas de instalaciones. Esto provoca que existan conexiones necesarias entre exterior e interior que se manifiestan de forma escondida en el

pavimento de la ciudad: tapas de cámaras de registro, de sistemas de canalizaciones de agua, de electricidad, o rejillas de ventilación, entre otras (figura 4 y 5). **Todas ellas buscan la continuidad del plano horizontal del espacio público y ocultan espacialidades que consideramos residuales debido a su limitada funcionalidad. Las percibimos como desagradables y como un problema que queremos esconder.**



**Figura 4 y 5:** Tonalidades distintas en los registros de instalaciones urbanas. Fotografías de Francesc Daumal.

Lo anterior produce gran variedad de situaciones que responden al sonido. La sonoridad de los elementos en la ciudad ocurre en cuanto sean accionadas por algo o alguien. Hoy esa ejecución se produce de forma espontánea y en aparente caos, por lo tanto pueden existir sonidos agradables que no logramos percibir debido al resto de voces presentes. Sonidos musicales, ruidos, sonidos propios o foráneos, y tonalidades, permiten configurar esos sonidos y definir **caracteres sonoros** (4).

Frente a esta situación, es conveniente actuar identificando las partes involucradas en el fenómeno sonoro: elementos, espacialidades y actores. A la vez, la producción de sonido agradable tiene en los instrumentos musicales a sus mayores

exponentes. En ellos, los sonidos producidos están diseñados para ser percibidos como música a través de una mezcla de interacciones controladas. Resulta lógico, entonces, hacerlos parte de este trabajo para entender su lógica, con el fin de aplicar sus principios en la búsqueda de un aporte al paisaje sonoro en espacios públicos urbanos.

Finalmente, en el diseño de paisaje sonoro, es importante considerar que sus elementos “*no establezcan una concepción del territorio demasiado rígida, desde el punto de vista de los mandamientos que algunas acciones de este diseño imponen. El diseño del paisaje sonoro debería ser quizá más libre, e incluso dejar que el mismo usuario pudiese terminar de diseñar su ambiente más íntimo.*” (Daumal, 2007).

(4) DAUMAL i DOMÈNECH, Francesc: Arquitectura acústica. Poética y diseño. Barcelona, Edicions UPC, 2002.

## 2.3 Situaciones



**Figura 6:** Las tapas de registro marcan acentos sonoros en las calles. Fotografía de elaboración propia (Girona).



**Figura 7:** Tanto la variedad en la disposición de un elemento como la diversidad de materiales genera tonalidades distintas. Fotografía de elaboración propia (Parque Jardins del Mirador, Montjuïc).



**Figura 8:** La textura de las superficies (rugosas y lisas) genera silencios y sonidos. Fotografía de elaboración propia (Lisboa).



**Figura 9:** La diferencia de textura y material genera un cambio de sonido necesario para avisar situaciones de atención. Fotografía de elaboración propia (Lisboa).





**Figura 10:** El cambio de textura rugosa a lisa genera silencio al entrar al museo. Fotografía de elaboración propia (Lisboa).



**Figura 11:** En vías empedradas, se agregan rasgos para no videntes (A) que generan una irrupción sonora cuando pasan elementos con ruedas. Fotografía de elaboración propia (Copenhague).



**Figura 12:** Grava, piedra, metal y agua se mezclan en una sonoridad agradable para pasear. Fotografía de elaboración propia (Nîmes).



**Figura 13:** En Paseo de Gràcia, el panot hexagonal se interrumpe con rejillas metálicas de ventilación, por donde a veces se logra escuchar al Metro. Fotografía de elaboración propia (Barcelona).

# CAPÍTULO III: ORQUESTACIÓN ARQUITECTÓNICA

*"Conocer no es desmontar ni explicar. Es acceder a la visión.*

*Mas para ver conviene antes participar.*

*Duro aprendizaje"*

*Antoine de Saint-Exupéry, "El Aviador"*

## 3.1 Sonoridad musical: desglose de los instrumentos musicales

### 3.1.1 CLASIFICACIÓN GENERAL

Por orquestación se debe entender la acción de preparar y adaptar una obra musical para que pueda ser interpretada por una orquesta. En el caso de este trabajo, más que una analogía es el manifiesto de la intención de adaptar situaciones sonoras en espacios urbanos. Para ello, se analizarán los instrumentos musicales como parte del proceso por entender los mecanismos que generan sonido, lo que permitirá identificar situaciones en las cuales actuar en la ciudad.

Hoy, los instrumentos musicales se agrupan a modo general en tres grandes grupos: percusiones, cuerdas y vientos. Sin embargo, estudios sobre musicología han generado sistemas de clasificación más elaborados. El de mayor uso es el sistema Hornbostel-Sachs (1914), que reconoce cuatro grandes grupos con un quinto añadido posteriormente. Ha sido criticado a través de los años pero sigue siendo común su uso entre investigadores.

El sistema los agrupa de la siguiente manera:

- 1) **Idiófonos** (xilófono...), suena vibrando por sí mismo.
- 2) **membranófonos** (batería...), suena por membrana vibrante.
- 3) **cordófonos** (piano, cello...), suena por cuerdas vibrantes.
- 4) **aerófonos** (oboe...), suena por columnas de aire vibrante.
- 5) **electrófonos** (sintetizadores, bajo eléctrico...), suena por electricidad y enchufado a amplificador.

Otro autor llamado André Schaeffner (1932) propuso una clasificación en dos divisiones. Es similar al sistema anterior pero difiere en los instrumentos de percusión. Las agrupaciones son:

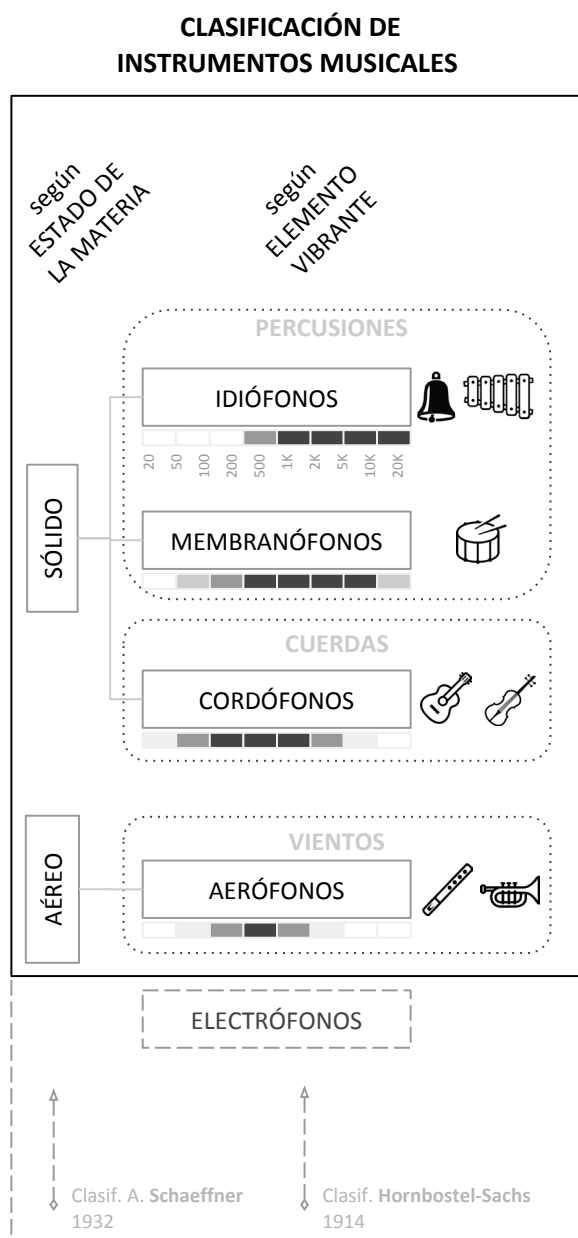
I) Instrumentos que suenan por **sólidos vibrantes**

IA) sin tensión (xilófonos, platillos, claves...)

IB) lamelófonos (sólidos sujetos por un extremo, como kalimbas...)

IC) cordófonos (sólidos fijados a 2 extremos (piano, arpa,...); y la batería

II) instrumentos que suenan por **aire vibrante** (clarinete, trompeta, ...)



**Figura 14:** clasificación de los instrumentos musicales. Esquema de elaboración propia en base a clasificaciones existentes.

Otros sistemas incluyen la voz humana y también consideran aspectos como etnicidad, época, geografía, rol en la orquesta, cantidad de voces interpretando, entre otros. Para efectos de este trabajo, otros sistemas no serán considerados por ser específicos para la música. Los dos sistemas principales, Hornbostel-Sachs y Schaeffner, son más relevantes por basarse en características morfológicas y en el método de producción del sonido (figura 6).

### 3.1.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DEL SONIDO

Cada instrumento, dentro de cada clasificación, presenta una configuración particular basada en la interacción de tres partes: modo de ejecución, oscilador y resonador. Cada uno toma diversas formas, generando la diversidad de instrumentos musicales que conocemos. La similitud de esas formas, junto con otras características como timbre, frecuencias generadas, intensidad, duración, entre otras) es la que permite clasificarlas.

El elemento más importante en un instrumento musical es el oscilador. Es el que vibra y genera las ondas sonoras en determinadas frecuencias que percibimos como notas musicales (en la mayoría de los casos). Pueden ser barras, placas, membranas, cuerdas o columnas de aire.

**GENERACIÓN DEL SONIDO:  
INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL**








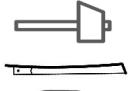





FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	FUNCIÓN
						
Idiófonos		BARRAS	● ● ●	● ○	 Simple	 RESALTAR (BRILLO)
		PLACAS	● ● ○	○ ○		
		MEMBRANA	● ○ ○	● ○	 Simple	 AMPLIAR
Cordófonos		CUERDA	● ○ ○	○ ●	 Compleja	 AMPLIAR
Aerófonos		COLUMNA DE AIRE	○ ○ ○	● ● DINÁMICA	 Simple / Compleja	 AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER

Figura 15: desglose de la interacción del sistema en un instrumento musical. Esquema de elaboración propia.

Los osciladores deben ser activados para que puedan vibrar y emitir sonido. En términos generales, los instrumentos sólidos pueden ser

accionados mediante golpe, frotación, pulsación o sacudida, mientras que los aéreos se accionan soplando, lo que genera presión en la columna



de aire. Como los instrumentos son creados por el hombre, pueden ser ejecutados por medios propios (con las manos o soplando, por ejemplo) así como a través de otros elementos que realicen la acción como baquetas, arcos con cuerdas, martillos, uñetas, entre otros. De la activación depende las variaciones de intensidad e influye también en el timbre del instrumento.

El resonador, técnicamente, es el que adapta las amplitudes del oscilador y permite escuchar o resaltar el sonido. Coloquialmente se entiende

como “caja de resonancia” aquella que amplifica el sonido (en la guitarra o un tambor, por ejemplo), tomando como referencia el espacio generado por el cuerpo del instrumento, pero en realidad la resonancia se produce por la transmisión de las amplitudes de la vibración del oscilador hacia otro elemento que puede mover mayor cantidad de aire y, por lo tanto, sonar con mayor intensidad.

Las tres partes configuran un instrumento musical (figura 7). Cada clasificación de instrumento musical tiene su lógica de funcionamiento, que se explica a modo general a continuación:

**IDIÓFONOS:** aquellos que vibran por sí mismo sin resonador. Son percutidos y comprenden a campanas, platillos y xilófonos, entre otros.



Figura 16

**MEMBRANÓFONOS:** los que tienen membranas que vibran al ser percutidas, sobre soportes que sirven de caja de resonancia.



Figura 17

**CORDÓFONOS:** los que suenan a partir de cuerdas tensadas que vibran. Se soportan sobre un sistema que actúa como resonador.



Figura 18

**AERÓFONOS:** columnas de aire que vibran por presiones de aire, generalmente a través del soplo. Las distintas longitudes de la columna de aire permite generar diferentes frecuencias o notas musicales.



Figura 19

De este modo es posible comprender mejor los principios que rigen la interacción del sistema de un instrumento musical. Si bien para la clasificación tradicional explicada aquí la lectura del cuadro se hace linealmente en horizontal, se puede plantear el cuadro como una matriz tanto para elaborar instrumentos musicales no convencionales como para identificar las partes interactuando en situaciones sonoras existentes.

*“Especialmente a lo largo del siglo XX, la experimentación que buscó la expansión de las posibilidades tímbricas de los instrumentos musicales acústicos ‘usuales’ (en determinado contexto cultural), llevó a la ampliación de los modos de excitación de los osciladores, de manera distinta para la cual habían sido construidos”* (4). Un ejemplo de esta experimentación es la colección de instrumentos musicales ideados por los hermanos Baschet. El primero de ellos es la guitarra Baschet (figura 8), que puso en cuestión la caja de resonancia. Quitó la caja tradicional, llevando al mínimo la estructura con un elemento lineal metálico con cuerdas. Las vibraciones las transmitía con el puente hacia un globo inflado. Con esto, los hermanos Baschet se dieron cuenta sobre la utilidad (o inutilidad) de cajas rígidas. Este planteamiento se puede extrapolar para los casos de banjos o guitarras plegables, para graficar la importancia de la membrana que, por contacto

con el puente, recoge las vibraciones generadas por la cuerda. La tapa armónica es un elemento que se puede replicar sin necesidad de la idea de caja, aspecto que los instrumentos Baschet aprovechan y exploran con resonadores de planchas, formando conos plegados abiertos. La importancia de esto es que la forma de cualquier material (por ejemplo, cartón) tiene una frecuencia fundamental y sus correspondientes parciales o armónicos. Luego, según por donde se sujete, esas relaciones se alteran. Entonces, la modificación de sus propiedades, ya sea quitando material, creando nervaduras u otras estrategias, cambia su comportamiento. Se abre una enorme variabilidad de alternativas por desarrollar para incrementar el rendimiento sonoro del sistema generador.



Figura 20: guitarra Baschet. Imagen recuperada de [ajuntament.barcelona.cat](http://ajuntament.barcelona.cat)

(4) MAGGIOLO, Daniel. "Apuntes de acústica musical. Instrumentos musicales". 2003. Recuperado de: <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/ins.html>

### 3.1.3 ANÁLISIS DE INSTRUMENTOS MUSICALES

Para graficar la relación entre accionador, oscilador y resonante, se exponen ejemplos de instrumentos

musicales analizados según el cuadro generado (figura 7).

#### XILÓFONO (IDIÓFONO)

Consiste en barras (oscilador) sostenidas en dos puntos de apoyo, que son golpeadas con baquetas (acción y elemento). El sonido producido por el oscilador no necesita de resonador (como el triángulo o la clave) pero el xilófono utiliza a menudo tubos resonadores, cuyo aire interior entra en resonancia con la frecuencia fundamental o sus armónicos, resaltando la calidad sonora o su brillo.

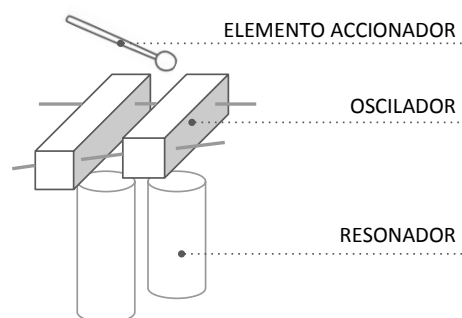


Figura 21: esquema del sistema de generación de sonido en un xilófono. Esquema de elaboración propia.

#### CAMPANA (IDIÓFONO)

La campana, como los platillos, es una placa (oscilador) sostenida por un punto de apoyo, que al ser golpeada con baquetas o martillos (acción y elemento) suena con un determinado timbre debido a su forma geométrica. Es posible afinarla según la escala musical, aunque en ocasiones entrega un conjunto de frecuencias que son difíciles de identificar como notas musicales. Al igual que el xilófono, no requiere de resonador.

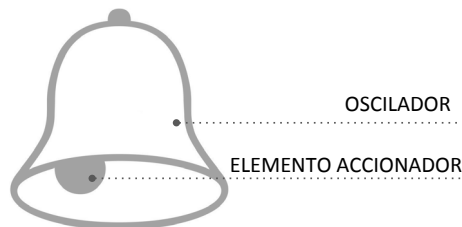


Figura 22: esquema del sistema de generación de sonido en una campana. Esquema de elaboración propia.

#### TAMBOR (MEMBRANÓFONO)

El tambor (como idea general, sin especificar tipo) es una membrana tensada por todos sus bordes (oscilador), que es golpeada por baquetas o con las manos (acción y elemento). Por lo general, la membrana se sostiene sobre un cuerpo rígido (resonante) que dirige la presión sonora sobre el aire contenido de mejor manera, amplificando la intensidad del sonido, es decir, dándole mayor cuerpo.

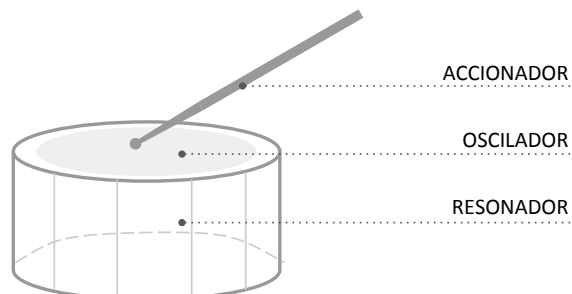


Figura 23: esquema del sistema de generación de sonido en un tambor. Esquema de elaboración propia.

### GUITARRA (CORDÓFONO)

La guitarra (así como los violines) consiste en cuerdas tensadas (oscilador) que se accionan pulsándolas con los dedos o uñetas (acción y elemento). La guitarra (y en general los cordófonos) emplean más elementos para completar la tríada accionador-oscilador-resonante, por lo que las cuerdas tensadas transmiten su vibración a través de un PUENTE hacia una TAPA ARMÓNICA, que recoge ese movimiento y vibra a modo de membrana. Esa tapa, en las guitarras, cubre una caja que recoge y amplifica el sonido (resonador).

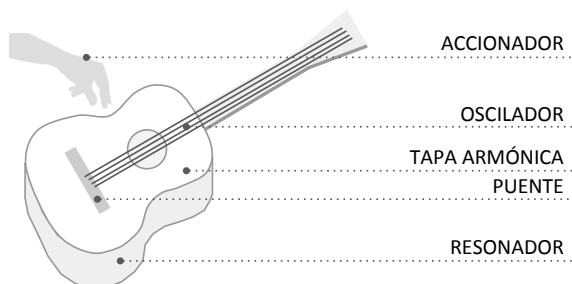


Figura 24: esquema del sistema de generación de sonido en una guitarra. Esquema de elaboración propia.

### ARPA EÓLICA (CORDÓFONO)

El arpa eólica consiste en cuerdas tensadas (oscilador) a modo de arpa tradicional, con la diferencia de que es el viento el que las frota (acción y elemento). Las vibraciones de las cuerdas se transmiten a una tapa armónica (resonador) que cubre una caja de amplificación.

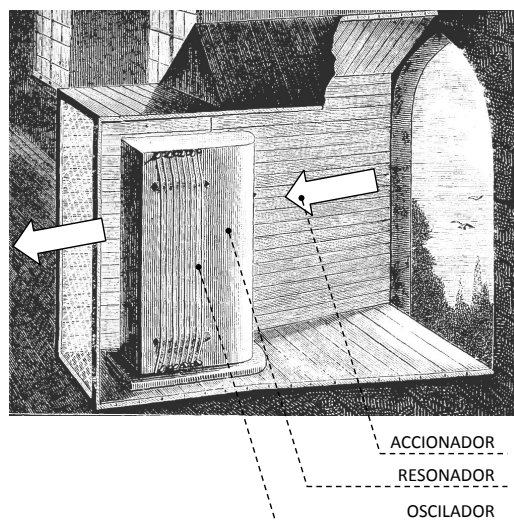


Figura 25: esquema del sistema de generación de sonido en un arpa eólica. Esquema de elaboración propia sobre imagen de Wikipedia.

### PIANO (CORDÓFONO)

El piano es un cordófono pero accionado por percusión. Consiste en cuerdas tensadas que vibran (oscilador) mediante golpes de martillo (accionador) a través de un mecanismo de teclas, que permiten conseguir matices musicales con pedales y sordinas. El conjunto se completa con una compleja estructura que considera una tapa armónica y caja amplificadora (resonador).

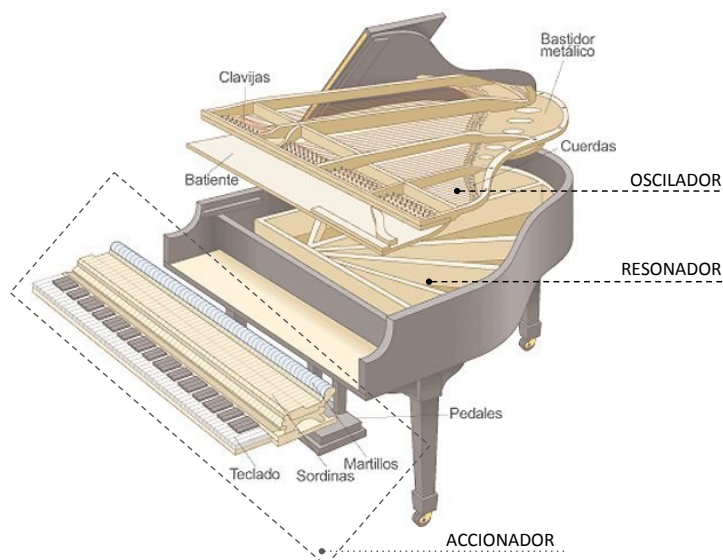


Figura 26: esquema del sistema de generación de sonido en un piano. Esquema de elaboración propia sobre imagen de internet (icarito.cl).

### FLAUTA (AERÓFONO)

La flauta consiste en una columna de aire (oscilador) excitada por el soplido humano (acción y elemento). La columna de aire es sometida a diferentes presiones que la hacen vibrar, alcanzando distintas frecuencias al controlar la longitud de la columna. Es decir, es el mismo aire el que oscila y resuena a la vez (oscilador = resonador). El cuerpo rígido de la flauta sólo actúa como contenedor del aire y permite, a través de sus orificios, la variación de la longitud de la columna de aire. El contenedor en la flauta es fijo y único, pero existen contenedores fijos múltiples (como en la flauta de pan) en que cada contenedor produce una nota musical (por lo tanto, no tienen orificios) y contenedores no fijos,

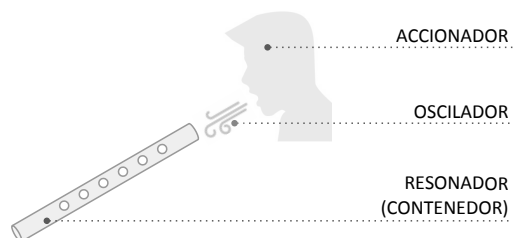


Figura 27: esquema del sistema de generación de sonido en una flauta. Esquema de elaboración propia.

es decir, dinámicos como en el caso del trombón en que el contenedor es móvil para modificar su largo, generando las distintas longitudes de columna de aire necesarias para cada frecuencia.

Existen más ejemplos y particularidades que no serán abordadas en este trabajo.

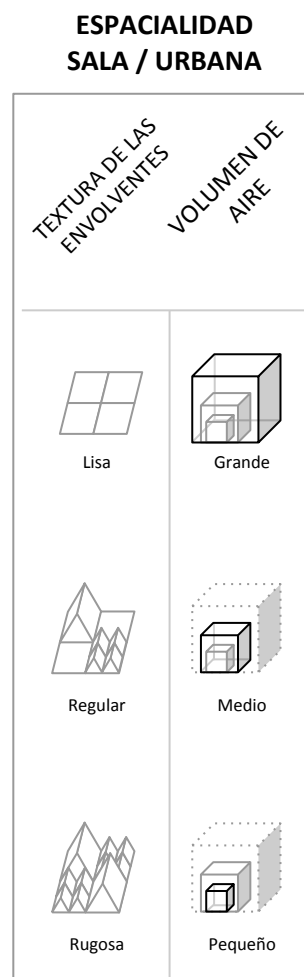
#### 3.1.4 ESPACIALIDAD DEL SONIDO

Como arquitecto, el análisis de los instrumentos musicales no sólo se enfoca en el objeto sino en la espacialidad en la que se ejecuta. No es lo mismo interpretar un instrumento a campo abierto que en una pequeña sala de piedra. Existen condiciones que hacen más favorable el comportamiento acústico de un espacio, pero enfocados en el espacio público urbano se puede limitar a considerar la textura de las envolventes y el volumen de aire (figura 16).

##### *Textura de las envolventes*

La textura de las envolventes se refiere a cuán lisa o rugosa es la superficie, ya sea horizontal o vertical, refiriéndonos a suelos y fachadas. La geometría de la superficie incide en la reflexión de las ondas sonoras. La respuesta de las superficies a las ondas permitirá que todas o una parte de ellas sean reflejadas con variaciones en su intensidad sonora, de la mano de su ángulo de incidencia.

Una superficie lisa es una envolvente con una cara considerada plana, con mínimas variaciones angulares, por lo que reflejará las ondas de manera casi íntegras y producirá lo que llamamos eco. En cambio, una superficie rugosa, entendida como una envolvente con múltiples caras y pronunciados cambios de ángulo entre ellas, reflejará las ondas en muchos sentidos, generando mayor cantidad de rebotes y la disipación de su energía sonora, lo



##### **ESPACIALIDAD SALA:**

espacios sin contacto con el exterior (o contacto controlado).

##### **ESPACIALIDAD URBANA:**

espacios con una o más caras abiertas al exterior.

Figura 28: características espaciales consideradas en el análisis sonoro. Esquema de elaboración propia.



que podemos denominar absorción acústica.

#### *Volumen de aire*

El volumen de aire determina la distancia existente una fuente sonora (emisor) y una superficie envolvente. El aire entre estos dos elementos actúa de manera absorbente, por lo que a mayor distancia, menor será la intensidad del sonido original del emisor. En un volumen reducido, la intensidad se mantendrá mayor tiempo. Esto es relevante al aplicarlo al espacio público, ya que una calle estrecha será distinto escenario que una plaza amplia. En este trabajo se considera el espacio público urbano como uno abierto al exterior, como calles, plazas, patios y similares que son de acceso general, sin concluir en un escenario adecuado ya que cada caso presenta particularidades.

Los efectos producidos por la interacción entre la textura de las superficies y el volumen de aire producirán espacios reverberantes o absorbentes.

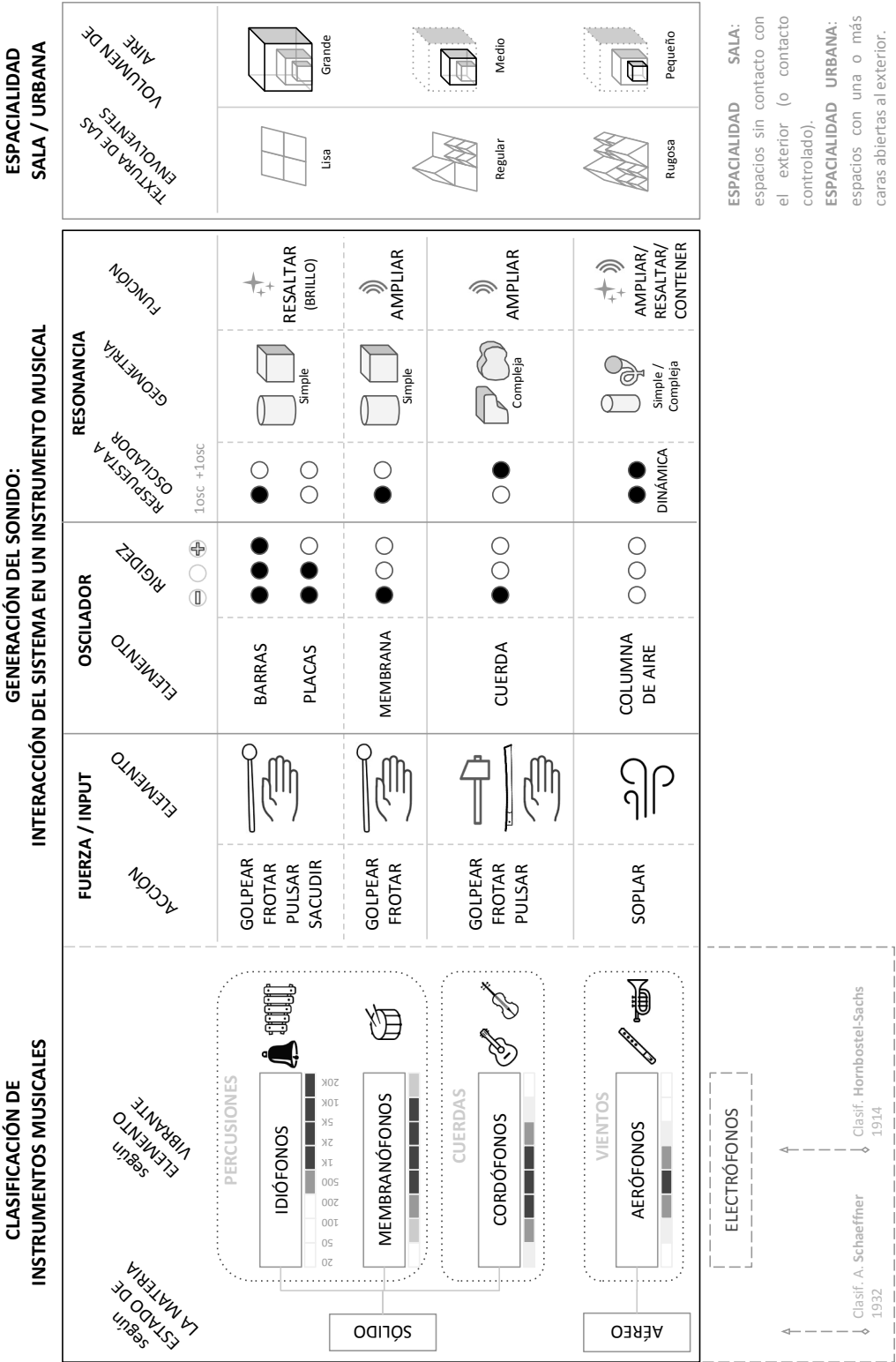
#### 3.1.5 ANÁLISIS DE ESPACIALIDADES

Se generan relaciones entre instrumentos y espacialidades como la música de iglesia, que consiste en espacios de gran volumen de aire con superficies mayoritariamente lisas, produciendo gran reverberación y eco. En estos espacios se suele interpretar instrumentos de viento (como el órgano de tubos) y cuerdas (guitarras), que tienen sonidos que logran mayor sustentación y brillo musical. Un

ejemplo contrario podría ser un recinto tipo bar de música en vivo, en un subterráneo de dimensiones pequeñas, de techo bajo y con superficies rugosas debido a la gran cantidad de objetos instalados en sus envolventes. Los instrumentos que allí se interpretan (percusiones, cuerdas y vientos) sonarán mucho más secos. En el caso de la música de cámara, llamada así por interpretarse en una sala en los palacios renacentistas, el volumen de aire es mediano y la cantidad de instrumentistas reducido. Se interpretan piezas de cuerdas y vientos principalmente, equilibrando la calidad sonora con superficies rugosas por medio de cortinas y alfombras.

En espacios abiertos, podemos mencionar situaciones como las marchas militares y los campanarios de iglesias en la ciudad. En el primer caso, se interpretan marchas a campo abierto, por lo que el aire es un elemento altamente absorbente de sonido. Se interpretan principalmente instrumentos de viento y percusiones, que son los que generan mayores presiones sonoras sobre el aire. En el caso de los campanarios de iglesias, la campana tañe desde lo alto de una torre. El instrumento en sí, un idiófono de percusión, produce un sonido potente que genera ondas que continúan en movimiento por las calles de la ciudad en una disipación continua, que percibimos como un sonido muy sostenido y amplificado por el espacio urbano.

Figura 29: Cuadro general de clasificación y desglose del sistema de generación de sonido en instrumentos musicales, junto a características espaciales generales relacionadas con el sonido. Esquema de elaboración propia.





### **3.2 Interacción sonora y espacio público: casos de estudio**

El ámbito del paisaje sonoro incluye a la arquitectura junto a otras disciplinas, entre ellas el arte. En ese campo existen muchos casos de intervenciones sonoras, de los cuáles algunos se han considerado en este trabajo para ejemplificar la interacción del sonido diseñado en espacios públicos. Los casos representan los criterios de interés acerca de espacialidad, interacción de los elementos generados de sonido y acción sobre el plano horizontal de la envolvente.

Cada caso se analiza utilizando el cuadro de análisis sobre el sistema de los instrumentos musicales, para visualizar la función y relación entre sus elementos.

# SUIKINKUTSU

## Japón

### Instrumento tradicional

Un suikinkutsu es un instrumento musical decorativo de Japón. Consiste en un recipiente enterrado con un orificio superior, que se mantiene a ras suelo a modo de macetero invertido. Sobre él se decora con piedras que permiten el paso del agua de un lavadero hacia el interior del recipiente enterrado, que cae y se acumula gracias a un sistema de grava construida bajo el recipiente, encerrando una cámara de aire bajo tierra (resonador contenedor). El agua acumulada recibe gotas que la golpean (acción, elemento y



Imagen 30

oscilador). La cámara es pequeña (volumen de aire), mientras que la textura de la superficie que se busca es lisa, para permitir mayor reflexión de las ondas sonoras generadas por la gota de agua. Se destaca la disposición espacial del suikinkutsu, ya que es un instrumento que está escondido a la vista, maximizando la atención auditiva del lugar. La percepción del espacio (un patio en este caso) se beneficia gracias a la atmósfera agradable que se crea con el sonido depurado de las gotas de agua, con un ritmo natural y dinámico en intensidad y frecuencias.

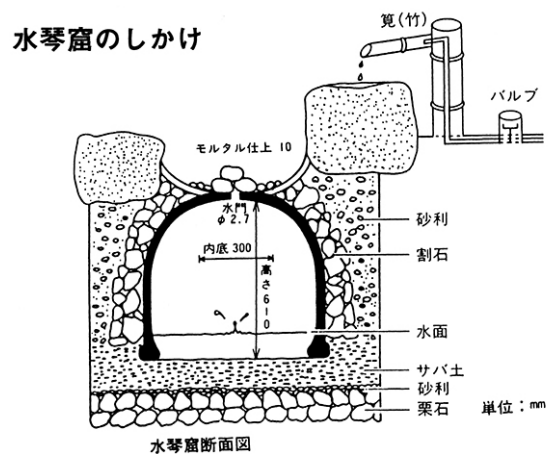


Imagen 31

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL					ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	VOLUMEN DE AIRE
	PERCUSIONES					1osc +1osc		
	IDIÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR	BARRAS PLACAS	●●● ●●○	●○ ○○	Simple Simple	RESALTAR (BRILLO) AMPLIAR	Lisa Grande
SÓLIDO	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR FROTAR	MEMBRANA	●○○	●○	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS							
	CORDÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR	CUERDA	●○○	○●	Compleja	AMPLIAR	Regular Medio
AÉREO	VIENTOS							
	AERÓFONOS	SOPLAR	COLUMNA DE AIRE	○○○	●●	DINÁMICA Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Rugosa Pequeño
	ELECTRÓFONOS							

# “WHITE NOISE, WHITE LIGHT”

## Atenas, Grecia - 2004

### Höweler+Yoon Architects

Instalación arquitectónica que mezcla luz y sonido, en un plaza de Atenas, Grecia, con motivo de los JJ.OO. de 2004. De día es un espacio neutro, mientras que de noche se convierte en una grilla interactiva. Consiste en varas de fibra óptica conectadas en su base a un dispositivo electrónico (oscilador), que responden al movimiento de aire o golpes generados por el tránsito de personas (acción y elemento). El sonido producido se debe a la flexión de las fibras que son interpretadas electroacústicamente, por lo que el resonador es un altavoz. La instalación es en espacio público

abierto (volumen de aire), con una plataforma de madera con una superficie regular (textura de la superficie) que esconden cavidades que sirven de cajas de resonancia amplificadoras.

La instalación otorga gran dinamismo a la plaza pública gracias a la interacción entre visitantes y elementos sonoros. Gran parte de la activación sonora recae sobre la acción de las personas con las varas, aunque recoge en menor medida la acción del viento. El diálogo con elementos lumínicos (que varían su intensidad según el grado de interacción) genera un complemento a la experiencia auditiva.

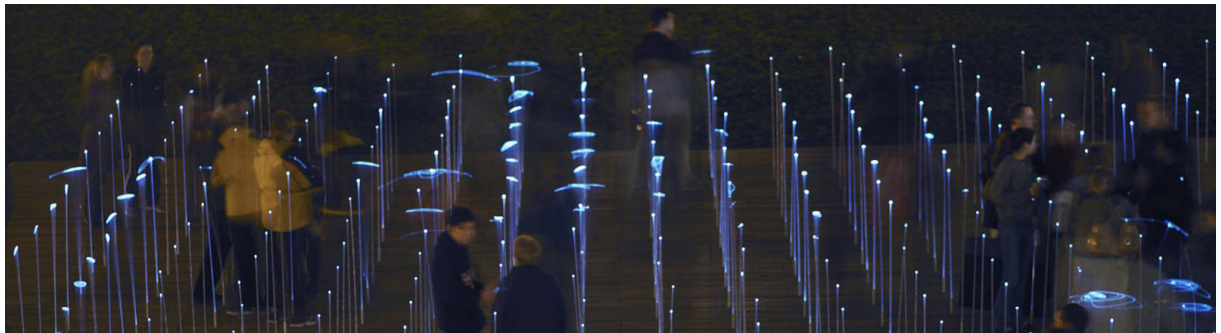


Imagen 32

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	FUNCIÓN	
					$\ominus \quad \bigcirc \quad \oplus$	$1osc + 1osc$			
SÓLIDO	PERCUSIONES								
	IDIÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS PLACAS	● ● ● ● ● ●	● ● ○ ○	Simple	RESALTAR (BRILLO)	Lisa Grande
	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA	● ○ ○	● ○	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS	GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA	● ○ ○	○ ●	Compleja	AMPLIAR	Regular Medio
AÉREO	VIENTOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE	○ ○ ○	● ●	Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Rugosa Pequeño
	ELECTRÓFONOS								

# TIMES SQUARE

## Nueva York, EE.UU. - 1992

### Max Neuhaus, artista

La instalación de Neuhaus se ubica dentro de un pozo de ventilación del Metro de Nueva York (resonador amplificador). Instala dentro un sistema de parlantes (oscilador electroacústico), activado por un dispositivo electrónico (acción y elemento).

El pozo se ubica en una intersección triangular de calles del sector de Times Square, en un espacio público grande (volumen de aire) con envolventes irregulares consideradas rugosas (textura de las superficies), que además presentan gran cantidad de fuentes sonoras. La instalación se convierte en

una fuente sonora agradable en medio de ruidos urbanos.

El sonido generado es una grabación electrónica, similar a una campana. Consiste en varias frecuencias unísonas diseñadas de acuerdo a la acústica del pozo, apuntando a su nota fundamental y armónicos musicales, lo que la hace una intervención muy perteneciente al lugar. Sin embargo, desaprovecha la corriente de aire producida por el Metro o el tránsito de personas como accionadores de un oscilador físico.



Imagen 33

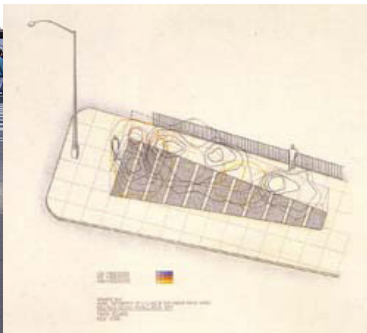


Imagen 34



Imagen 35

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA		
SÓLIDO	PERCUSIONES					1osc +1osc			
	IDIÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS PLACAS	●●●● ●●●●	●○ ○●	Simple	RESALTAR (BRILLO)	Lisa Grande
	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA	●○○	●○	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS	GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA	●○○	○●	Compleja	AMPLIAR	Regular Medio
AÉREO	VIENTOS								
	AERÓFONOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE	○○○	●●	Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Rugosa Pequeño
	ELECTRÓFONOS								

# JUGUETE DEL VIENTO

## Lanzarote, España - 1990

### César Manrique, artista

A pesar de tratarse de esculturas que se mueven con el viento y no esculturas sonoras, los “Juguetes del viento” de Manrique contienen los elementos necesarios para generar sonido. Se trata de instalaciones que se enfrentan al viento costero de la isla (accionador) que mueve partes giratorias de la obra. Si bien estos elementos no suenan, muchas veces el aire genera vórtices que producen

silbidos, siendo el elemento aire el oscilador y resonador a la vez en un fenómeno fortuito, no diseñado por el artista.

La ubicación privilegiada de las obras en la costa de la isla es espacio público extenso (volumen de aire), en un entorno natural de vegetación, rocas y arena (textura de la superficie), que no está acondicionada para fines acústicos.



Imagen 36

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA		
SÓLIDO	PERCUSIONES					1osc +1osc			
	IDIÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS PLACAS	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ○ ○	Simple	RESALTAR (BRILLO)	Grande
	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA	● ○ ○	● ○	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS CORDÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA	● ○ ○	○ ●	Compleja	AMPLIAR	Medio
AÉREO	VIENTOS AERÓFONOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE	○ ○ ○	● ●	DINÁMICA Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Pequeño
	ELECTRÓFONOS								



# CLINAMEN v.2

## Centro Pompidou, París - 2015.

### Céleste Boursier-Mougenot, artista

Consiste en cuencos cerámicos (osciladores) de distintos diámetros y espesores que chocan entre sí (acción y elemento), debido al movimiento de la corriente de agua sobre la que flotan. Tanto el agua como el aire actúan como resonadores; el aire excitado dentro de los cuencos resuena de manera contenida, mientras vibra y transmite a su alrededor las ondas hacia otros elementos.

El espacio de percepción auditiva lo conforma una plataforma de madera, en un ámbito de espacialidad media (volumen de aire) y de superficies que tienden a lo liso (textura de la superficie), acondicionando la percepción de los sonidos como profundos e introspectivos.



Imagen 37



Imagen 38

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	FUNCIÓN	
	PERCUSIONES				1osc 0 1osc				
SÓLIDO	IDIÓFONOS	GOLPEAR	FROTAR	BARRAS	● ● ●	● ○	Simple	RESALTAR (BRILLO)	Lisa Grande
	MEMBRANÓFONOS	PULSAR	SACUDIR	PLACAS	● ● ○	○ ○	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS	GOLPEAR	FROTAR	MEMBRANA	● ○ ○	● ○	Simple	AMPLIAR	
AÉREO	CORDÓFONOS	GOLPEAR	FROTAR	CUERDA	● ○ ○	○ ●	Compleja	AMPLIAR	Regular Medio
	VIENTOS	PULSAR							
	AERÓFONOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE	○ ○ ○	● ●	Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Rugosa Pequeño
	ELECTRÓFONOS								

# PEINE DEL VIENTO

## Donostia - San Sebastián, España - 1976

Eduardo Chillida (escultor), Luis Peña Ganchegui (arquitecto)

Las esculturas ubicadas en las rocas son visibles desde un paseo costero que se configura como espacio público en un entorno natural (volumen de aire), con materialidad pétrea de diversas geometrías (textura de la superficie). En esta plataforma se han proyectado conductos a modo de contenedor de aire (resonador), en donde se

empuja una columna de aire (oscilador) mediante la acción de la marea al romper las olas, o golpes sobre los conductos (accionador y elemento). Si bien el diseño preveía sonidos producidos por la columna de aire, en la práctica eso no ocurre, sino que se genera la salida de agua a presión sobre el lugar.



Imagen 39

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA		
SÓLIDO	PERCUSIONES					1osc +1osc			
	IDIÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS PLACAS	●●●● ●●●●	●●	Simple	RESALTAR (BRILLO)	Grande
	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA	●●●●	●●	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS	GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA	●●●●	●●	Compleja	AMPLIAR	Medio
AÉREO	VIENTOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE	○○○○	●●	Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Pequeño
	ELECTRÓFONOS								

# SHALEKHET (HOJAS CAÍDAS)

## Museo Judío de Berlín - 2012(?)

### Menashe Kadishman, artista

La instalación del artista en el Museo Judío aprovecha un espacio de tránsito al fondo de un vacío interior de gran altura (volumen de aire), con muros de hormigón casi lisos (textura de la superficie). Consiste en gruesos discos metálicos perforados que se golpean entre sí (acción y elemento), siendo las mismas barras (oscilador) las

que generan sonido sin necesidad de resonadores.

El sonido metálico, seco y apagado debido al permanente contacto con otras piezas produce un contraste con el efecto reverberante del espacio pétreo, generando una tensión auditiva muy bien lograda.



Imagen 40

Imagen 41

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES			GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL							ESPACIALIDAD SALA / URBANA			
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE		FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA			TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE		
			ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	FUNCIÓN				
SÓLIDO	PERCUSIONES		GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS					Simple	RESALTAR (BRILLO)		
	MEMBRANÓFONOS		GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA					Simple	AMPLIAR		
	CUERDAS		GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA					Compleja	AMPLIAR		
	CORDÓFONOS		SOPLAR		COLUMNA DE AIRE					Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER		
AÉREO	VIENTOS												
ELECTRÓFONOS													



# STONEHENGE

## Amesbury, Inglaterra - 2000 a.C. aprox.

### Autores desconocidos

Stonehenge es un antiguo monumento megalítico, cuyo uso aún no es claro aunque se supone fue un centro religioso. Uno de sus usos corresponde a un gran instrumento musical ceremonial. Los grandes bloques de piedra funcionarían como grandes barras (oscilador) que se golpean con martillos (acción y elemento), generando un sonido similar a una campana (sin necesidad de resonador). Al

situarse a campo abierto (volumen de aire), su intensidad sonora se disipa pero se compensa con la gran energía inicial que le brinda su masa. El sonido obtenido es fuerte y claro, en parte debido al entorno natural lleno de elementos (textura de las superficies) que le brindan un buen sustento sonoro.



Imagen 42

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA		
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA			TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	FUNCIÓN		
						1osc +1osc				
SÓLIDO	PERCUSIONES	GOLPEAR		BARRAS				RESALTAR (BRILLO)		
	IDIÓFONOS	FROTAR		PLACAS			Simple			
	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR		MEMBRANA			Simple	AMPLIAR		
	FROTAR									
	CUERDAS	GOLPEAR		CUERDA			Compleja	AMPLIAR		
	CORDÓFONOS	FROTAR								
AÉREO	VIENTOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE			DINÁMICA	AMPLIAR/RESALTAR/CONTENER		
	AERÓFONOS						Simple / Compleja		Rugosa	Pequeño
ELECTRÓFONOS										

# SONIDO DEL VIENTO

## Hotel Setre Marina, Shiga, Japón - 2013

### Ryuichi Ashizawa Architects

La intervención está integrada a la capilla del Hotel, enfrentando un lago y aprovechando las corrientes de aire. Consiste en un recinto tipo túnel que direcciona el viento (acción y elemento) hacia cables metálicos tensados (oscilador), sujetos a paneles de madera livianos (resonadores). El espacio de la capilla es intermedio (volumen de aire), con una superficie interior también regular (textura de las superficies). La percepción del sonido entonces tiene brillo pero poca sustentación.

En una segunda lectura de análisis, es posible que el sonido producido sea por efecto del viento en vez de las cuerdas. En ese caso, los cables actuarían como obstáculo para generar turbulencias en el aire (oscilador), que producirían silbidos del viento en distintas frecuencias. Incluso, podrían ocurrir ambos fenómenos a la vez, siendo difícil su clasificación en un símil a cordófono o aerófono.

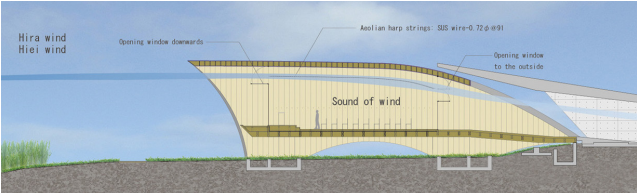


Imagen 43

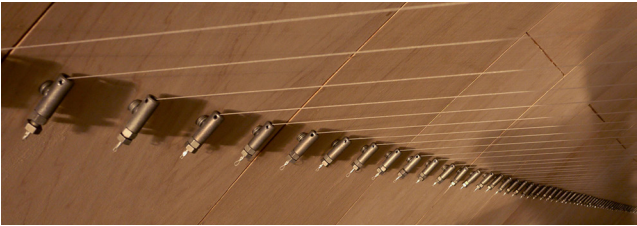


Imagen 44

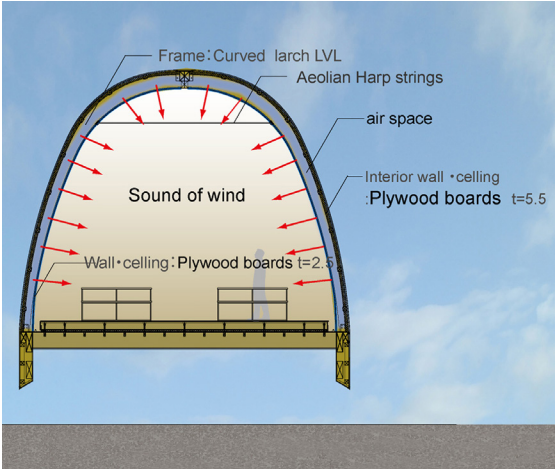


Imagen 45

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES		GENERACIÓN DEL SONIDO: INTERACCIÓN DEL SISTEMA EN UN INSTRUMENTO MUSICAL						ESPACIALIDAD SALA / URBANA	
según ESTADO DE LA MATERIA	según ELEMENTO VIBRANTE	FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		TEXTURA DE LAS ENVOLVENTES	VOLUMEN DE AIRE
		ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR	GEOMETRÍA	FUNCIÓN	
SÓLIDO	PERCUSIONES					1osc +1osc			
	IDIÓFONOS	GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS PLACAS	●●● ●●○	●○ ○○	Simple Simple	RESALTAR (BRILLO) AMPLIAR	Lisa Grande
	MEMBRANÓFONOS	GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA	●○○	●○	Simple	AMPLIAR	
	CUERDAS	GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA	●○○	●●	Compleja	AMPLIAR	Regular Medio
AÉREO	VIENTOS	SOPLAR		COLUMNA DE AIRE	○○○	●●	Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER	Rugosa Pequeño
ELECTRÓFONOS									

### 3.3 Conclusiones parciales

La identificación de las partes de un instrumento musical permite establecer lineamientos iniciales sobre la posibilidad de producción de sonido en el plano horizontal. El movimiento de las personas y de otros elementos (generalmente con ruedas) como carros, maletas, vehículos, entre otros, sobre el pavimento produce una relación inicial de tipo percusivo. Sin embargo, existen recursos sonoros identificados en espacialidades ubicadas bajo el suelo, que pueden ser aprovechadas como cajas resonadoras amplificadoras, lugares protegidos para instalar osciladores, o como fuente de impulsos que accionen otros dispositivos.

Los materiales existentes tienen características físicas que determinan tanto su sonido propio (como elemento oscilador) como también respuestas a otros sonidos (cuando se comportan como envolvente del espacio público). En un material se pueden considerar atributos físicos y geométricos para obtener sonidos, los que serán relevantes para decidir si actuarán como accionadores, osciladores o resonantes dentro de un sistema sonoro.

En este sentido, es importante conocer las posibilidades de relaciones existentes entre las partes de un instrumento musical para plantear nuevas interacciones pensadas para el espacio público urbano a través de la arquitectura. La especulación sobre cómo podrían utilizarse distintas opciones para hacer sonidos y crear instrumentos, como el caso de los instrumentos

Baschet, es extrapolable a la arquitectura y sus elementos.

Se logra ejemplificar la relación entre rigidez del elemento oscilador y su resonancia. Considerando las situaciones de un oscilador con un resonador, varios osciladores con un resonador, o un oscilador con muchos resonadores (resonador dinámico), podemos inducir que si el oscilador es muy rígido, vibra a frecuencias mayores y requiere de menor espacio para resonar, facilitando tener muchos resonadores o incluso no requiriendo uno. Al contrario, frecuencias bajas corresponden a osciladores poco rígidos que deben ser modulados con más estrategias resonadoras. En el espacio arquitectónico, esto explica las características acústicas de recintos y espacios urbanos respecto a sonidos de fondo graves en vez de agudos.

Por último, la clasificación de instrumentos musicales incluye a un grupo llamado electrófonos que no han sido considerados en este análisis. Ellos consisten en instrumentos basados en principios de electroacústica que abren muchas posibilidades de desarrollo, tanto musicales como arquitectónicas. En este trabajo se considera el fenómeno sonoro físico o acústico por sobre el electrónico, o análogo sobre digital, como un valor deseable para el espacio público. Es una preconcepción que puede ser debatida y tratada como parte de otro trabajo final de máster o similar.

# CAPÍTULO IV: CANCIÓN DEL POZO EN PLAZA CATALUNYA. PROPUESTA DE SONORIDAD URBANA

## 4.1 Definición de situación urbana de interés según aspectos sonoros.

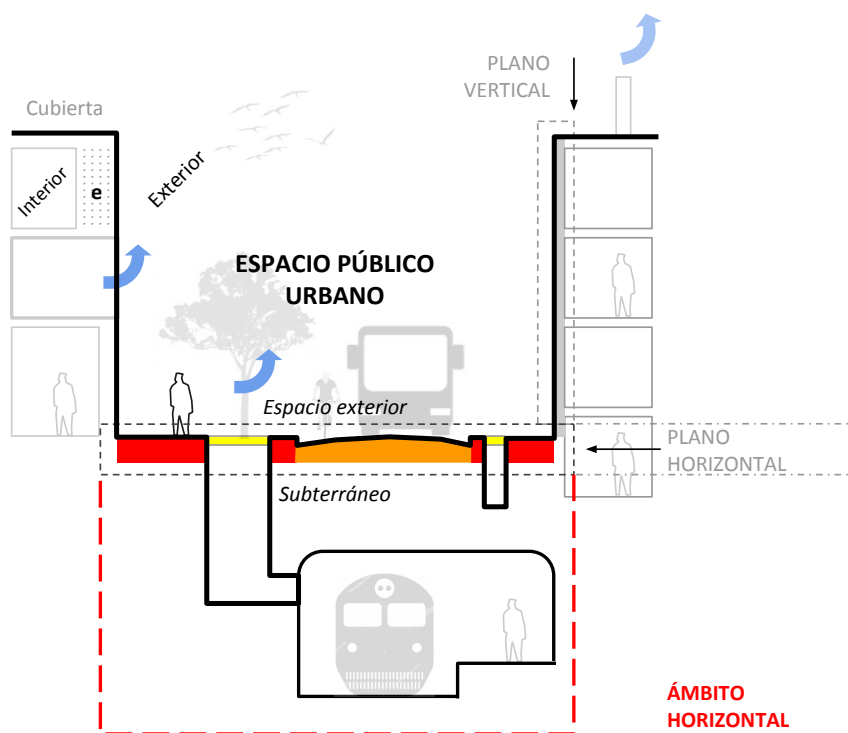
El plano horizontal del espacio público se refiere principalmente al suelo y sus pavimentos. En aspectos de sonoridad urbana, el plano horizontal recibe la mayor cantidad de impulsos y responde con gran diversidad de sonidos, producidos principalmente mediante **percusión**. Nuestros pasos, los elementos rodados y vehículos pueden golpear, frotar o arrastrarse sobre el pavimento, siendo los accionadores de sonidos cortos y repetitivos. Las diferencias de materiales, dimensiones y surcos del suelo responden entonces con multitud de voces e intensidades, generando un murmullo constante que es difícil de controlar.

El análisis del sistema de generación de sonidos en instrumentos musicales (capítulo III, fig. 29, pág. 28) permite hacer una nueva lectura del espacio público urbano, el rol de sus envolventes y las posibilidades que presenta para proponer sonoridades que busquen participar en el bienestar de la ciudad.

La reinterpretación del esquema generado anteriormente (capítulo II, figura 3, pag. 13) permite definir que el **plano horizontal**, como plataforma de sonoridades generadas mayoritariamente por

**percusión** por el paso de personas o vehículos (**accionadores**) sobre elementos de barras o placas (**osciladores**) como baldosas, pasarelas, rejās, entre otros, es sólo una superficie que separa ámbitos mayores: el espacio externo y espacios subterráneos. Bajo el plano horizontal, ocurren actividades que se manifiestan hacia el exterior a través de cavidades que se presentan como rejās, **las cuales tendemos a esconder o relegar a lugares de poco tránsito. Estas cavidades son necesarias para el intercambio de aire entre exterior y subterráneo**, en instalaciones como estacionamientos, estaciones de Metro o túneles. **El contacto con el exterior es obligatorio a través del plano horizontal del espacio público**, a diferencia de los mismos usos en superficie, ya que por ejemplo un edificio de estacionamientos tiene la posibilidad de intercambiar aire tanto por alguna de sus fachadas como por su cubierta, sin alterar el plano horizontal del espacio público.

**Las rejās son la manifestación en superficie de conductos que permiten el flujo de aire. En términos sonoros, representan el reconocimiento de una fuente sonora con elementos que brindan una variedad de sonidos urbanos totalmente distinta a los generados por percusión en pavimentos, con la posibilidad de delimitar espacios urbanos que relacionen la ciudad con su subsuelo.**



Sobre el plano vertical (fachadas) es difícil incidir en aspectos de sonoridad urbana, ya que cualquier propuesta afecta al uso interior y la interacción con las personas es limitada. Es un ámbito que involucra privacidad.

El plano horizontal recibe impulsos **percusivos**, pero tiene mayor riqueza al considerar que separa espacios exteriores y subterráneos, dentro de un **ámbito horizontal con profundidad**. En esa relación se descubren accionadores que son bien valorados en aspectos sonoros.

Figura 46: Reconocimiento del ámbito horizontal y su relación con el subsuelo. Esquema de elaboración propia.

La mayor parte de estas situaciones corresponde a **pozos de ventilación de la red de Metro**. Ellos presentan características sonoras favorables respecto a textura de superficies y volumen de aire, además de la posibilidad de adaptarse como accionador, oscilador o resonante de un instrumento sonoro urbano. La corriente de aire es una fuente de energía constante y gratuita. Además, interactúan directamente con las personas en el espacio público urbano a través de su rejilla y algunos pozos se ubican en espacios

públicos relevantes de la ciudad, siguiendo la lógica de comunicar lugares de alto interés urbano.

Finalmente, en términos de paisaje sonoro, **se propone que los pozos de ventilación son favorables como plataformas de intervención sonora urbana. Representan la oportunidad de transformar elementos residuales en elementos deseables, con potencial de ser fuentes sonoras atractivas para la ciudad.**



## 4.2 Pozos de ventilación: generalidades y situación en Barcelona

### 4.2.1 SITUACIÓN GENERAL

Los pozos de ventilación se encuentran repartidos en gran parte de la ciudad de la mano del trazado de las líneas de Metro; son las conexiones necesarias para el intercambio de aire entre el interior de los túneles y estaciones subterráneas con el exterior. Las rejillas metálicas permiten el paso del aire proveniente desde el interior, generando una fuente constante de aire.

Su manifestación hacia el espacio público urbano generalmente se hace a nivel de suelo, con rejillas transitables situadas en aceras y calzadas. Algunas presentan una altura que no permite el paso continuo pero generan una dimensión

adecuada para sentarse. En cualquier caso, al ubicarse en aceras generan una interacción obligada con las personas a modo de pavimento, con una sonoridad metálica característica activada por golpes de pies sobre ellas.

A modo general, han sido base para manifestaciones artísticas como esculturas efímeras de telas izadas por el viento o como protagonista de la icónica imagen de Marilyn Monroe con su vestido levantado (figura 26). Muchas veces son utilizadas por niños en sus juegos haciendo volar papeles u hojas de árboles (figura 27).

Aún así, muchas veces los pozos tienden a ocultarse entre otros elementos del paisaje urbano debido a las molestias que puede causar el ruido o la dificultad para caminar, especialmente en



**Figura 47:** la actriz Marilyn Monroe y su famosa escena sobre un pozo de ventilación. Fuente: internet.



**Figura 48:** el aire expulsado de los pozos de ventilación se transforma en un activador urbano atractivo para los niños. Fuente: Pozo de ventilación frente a Moulin Rouge, París (enero, 2018). Fotografía de elaboración propia.

zapatos con tacones. Por lo tanto, son elementos que cuentan con un tratamiento mínimo de acondicionamiento (de seguridad principalmente) para integrarse en la envolvente del espacio público.

#### 4.2.2 POZOS DE VENTILACIÓN DEL METRO DE BARCELONA: FUNCIONAMIENTO GENERAL

Según la información proporcionada por TMB (5), la ventilación de confort de la red de Metro de Barcelona se basa en un sistema combinado por **pozos de ventilación a la propia estación y pozos de túnel** interestación en el tramo entre dos estaciones. Todos los pozos son reversibles (impulsan o extraen aire) y disponen de dos velocidades (lenta y rápida).

En el funcionamiento del sistema de ventilación de estación (VE) en horario diurno, el aire es impulsado a través del pozo de ventilación hacia los andenes, con caudal según régimen de confort. Además, hay aportación de aire a través de los accesos de las estaciones por compensación natural de la extracción de aire por la ventilación de túnel (VT).

En el funcionamiento del sistema de ventilación de túnel (VT) en horario diurno, el aire es conducido por el túnel hacia los pozos de ventilación.

(5) Información otorgada por TMB - Metro de Barcelona, a través de contacto telefónico y correos electrónicos con técnicos de infraestructura.

En el funcionamiento del sistema de ventilación de estación (VE) en horario nocturno, los ventiladores de estación quedan detenidos y los accesos a la estación permanecen cerrados.

En el funcionamiento del sistema de ventilación de túnel (VT) en horario nocturno, el aire es distribuido por el túnel desde los pozos de ventilación.

Las velocidades máximas de la red están limitadas para no provocar molestias y ruidos al exterior. Los valores utilizados son:

Velocidad zona de NO PEATONES:  
**5 m/s** (impulsión); **3 m/s** (extracción)

Velocidad zona PEATONES:  
**2 m/s** (impulsión); **2 m/s** (extracción)

El caudal de ventilación necesario está determinado por los consumos de tracción de los trenes y las cargas térmicas de las estaciones. En estos dos parámetros se estandariza a la red de Metro un caudal de extracción por túnel de 180.000 m<sup>3</sup>/h y un caudal de impulsión en los andenes de 120.000 m<sup>3</sup>/h. Esta diferencia de caudales provoca que en los accesos a los andenes se genere una entrada de aire natural de 60.000 m<sup>3</sup>/h.

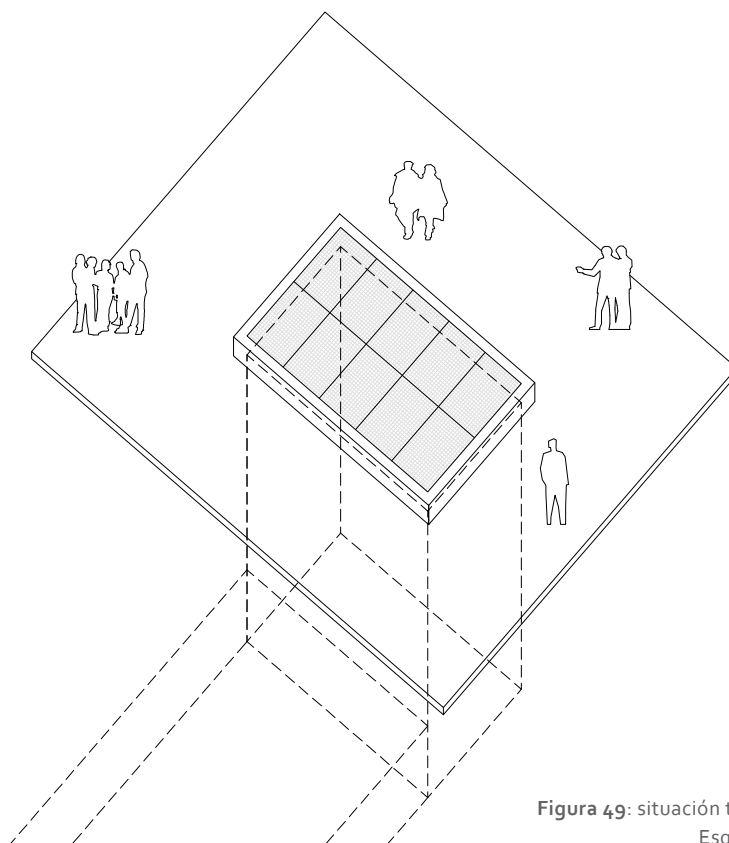


Figura 49: situación típica de pozo de ventilación.  
Esquema de elaboración propia.



Figura 50: esquema de tipos de pozos tradicionales en Metro.  
Fuente: internet.

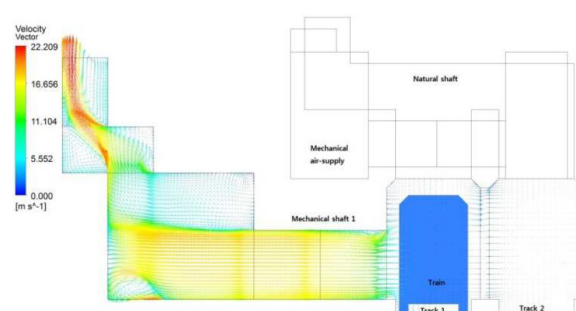


Figura 51: esquema de flujo de aire expulsado. Fuente:  
internet.



#### 4.3 Pozo de ventilación en Plaza Catalunya

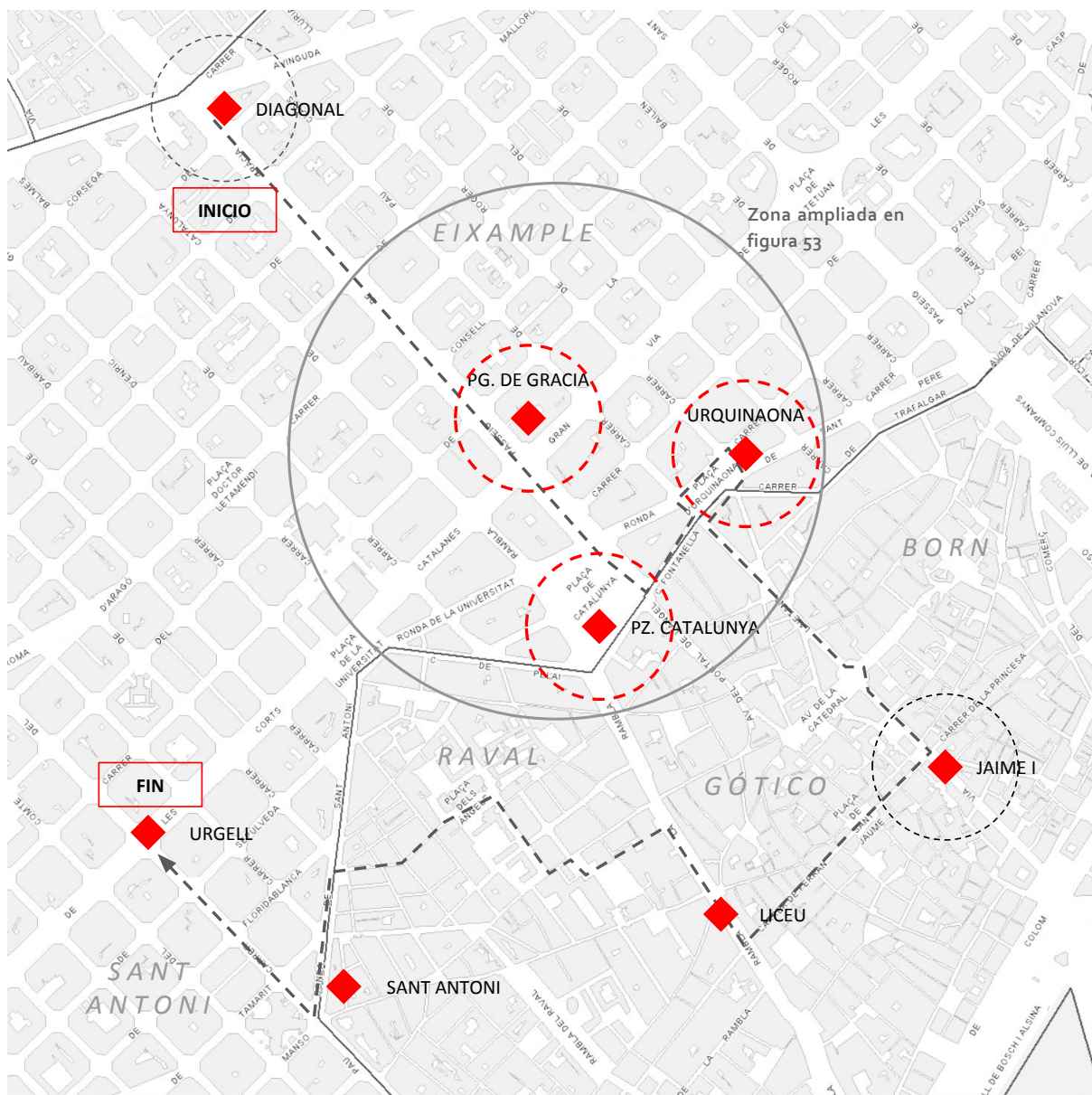
Existe gran cantidad de pozos de ventilación de Metro en Barcelona. Un cálculo rápido resulta en 400 pozos en toda la extensión de red. Para este trabajo, se delimitó la elección de un pozo por reconocimiento físico (visita en terreno) dentro de una zona prevista con alto cruce de líneas. La zona corresponde al barrio gótico y Eixample, con presencia de líneas 1, 2, 3, 4 y 5. Se realizó un recorrido el día 20 de mayo para reconocer pozos previamente localizados a través de Google Maps, resultando en la valoración positiva de tres zonas: estación Passeig de Gràcia, estación Urquinaona y estación Plaza Catalunya. El entorno con mejor proyección de interacción con las personas fue el de Plaza Catalunya, según valoración arquitectónica y sonora.

El pozo de ventilación escogido corresponde a uno de extracción de túnel (zona de no peatones), con un caudal máximo de  $Q=162.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , de dimensiones  $3,0 \times 5,0 \text{ mt}$  ( $15 \text{ m}^2$ ), con velocidad de  $3 \text{ m/seg}$  ( $Q=\text{vel} \times \text{área}$ ). Esta corriente de aire es importante considerarla como una fuente

permanente de viento, acción que puede ser traducida como accionador de un elemento oscilador dentro de una propuesta sonora.

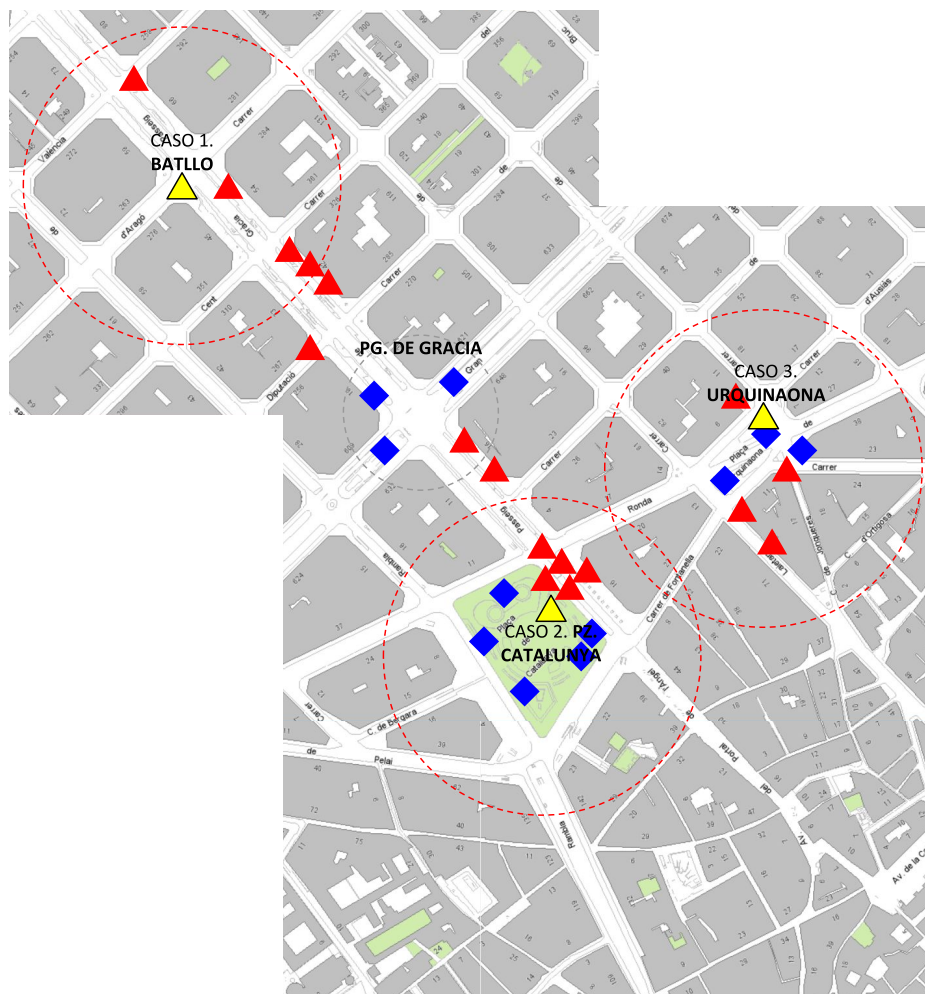
Se ubica en una zona no peatonal rodeada de área de vegetación con arbustos altos ( $1,4 \text{ mt}$  aprox.), con nivel de rejilla de  $0,45 \text{ mt}$  sobre el nivel del suelo. Como zona de intervención para la propuesta resulta favorable la posibilidad de modificar el entorno inmediato del pozo para integrarlo a la envolvente transitable horizontal de la plaza.

El pozo se encuentra distanciado de la fuente de ruido permanente del tránsito de vehículos (buses) y del centro de la plaza donde se concentran personas que emiten niveles de ruido alto. Quizás por efecto perceptual del cobijo de la vegetación, la zona intermedia presenta condiciones de menor ruido que los mencionados anteriormente. Al proveer de mobiliario urbano y sombra, esta zona se configura como una de descanso temporal, que las personas aprovechan para estar en silencio en medio del tumulto urbano del centro de Barcelona, influyendo en la percepción del lugar (figura 35).



**Figura 52:** recorrido de reconocimiento de pozos de ventilación.  
Esquema de elaboración propia.





- ◆ ENTRADA/SALIDA DE ESTACIÓN
- ▲ POZO DE VENTILACIÓN SIN VENTILADOR
- ▲ POZO DE VENTILACIÓN CON VENTILADOR

Figura 53: zonas de interés en el centro de Barcelona.  
Esquema de elaboración propia.



Figura 55: Pozo de ventilación en la esquina de Aragón y Paseo de Gràcia, frente a Casa Batlló (Caso 1). Fotografía de elaboración propia.

Figura 54: Pozo de ventilación en la esquina de Plaza de Urquinaona y Roger de Llúria (Caso 3). Fotografía de elaboración propia.





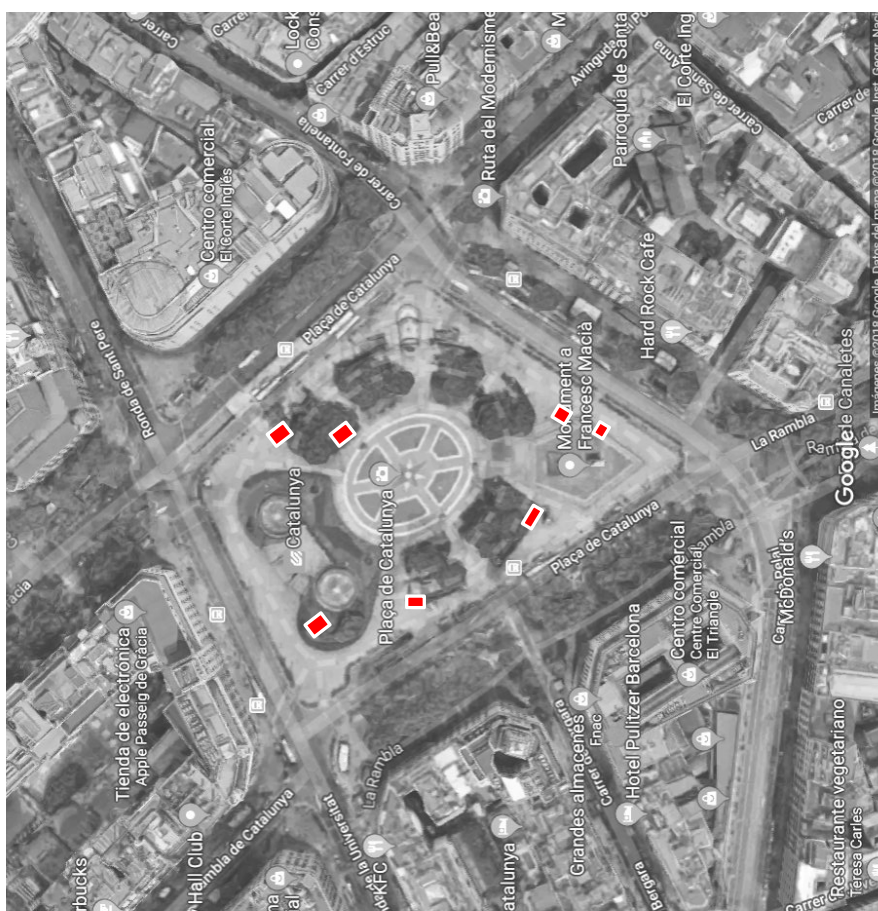
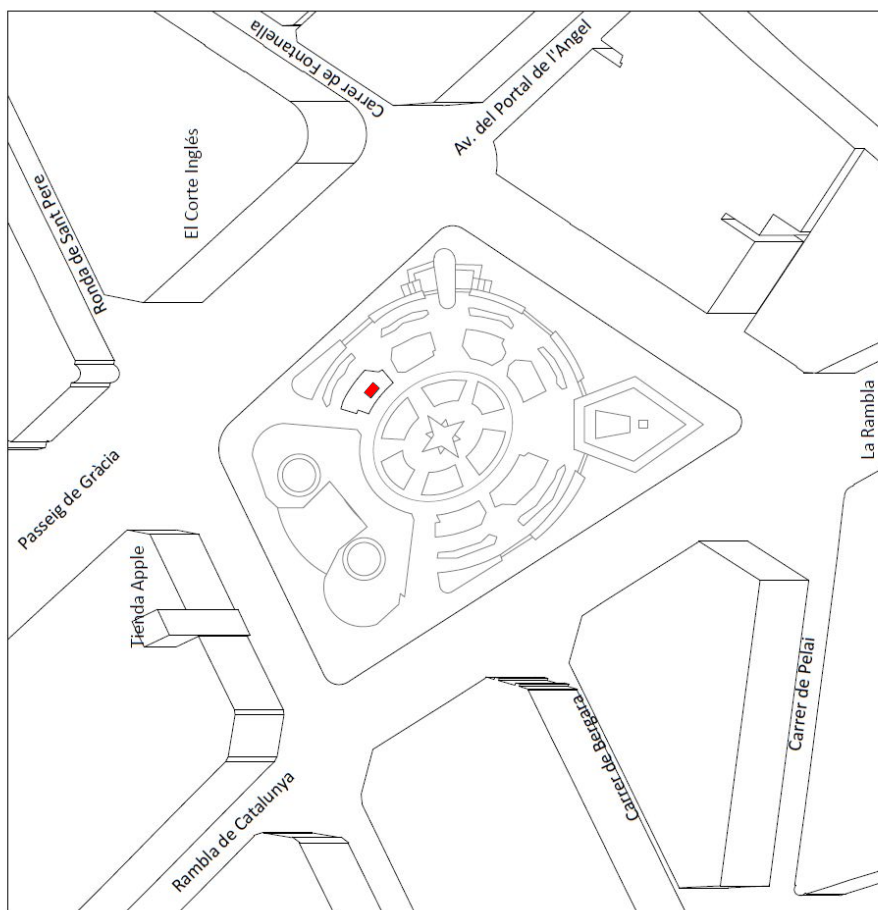


**Figura 56:** Otras situaciones identificadas fueron: A) Rejas de ventilación en acera (Metro Diagonal); B) rejas de menores dimensiones en acera (Metro Urquinaona); C) y D) rejas en calzada o en bandejones no transitables (Metro Jaume I). Fotografías de elaboración propia.



**Figura 57:** Pozo de ventilación de interés en Plaza Catalunya (Caso 2). Ambas situaciones (1 y 2) reflejan la condición de elemento residual al estar escondido entre arbustos de la plaza. Fotografías de elaboración propia.







**Figura 60:** entorno acústico con diversas fuentes sonoras en Plaza Catalunya. El pozo de interés (A) se encuentra en la zona de vegetación.  
Fotografía de elaboración propia.



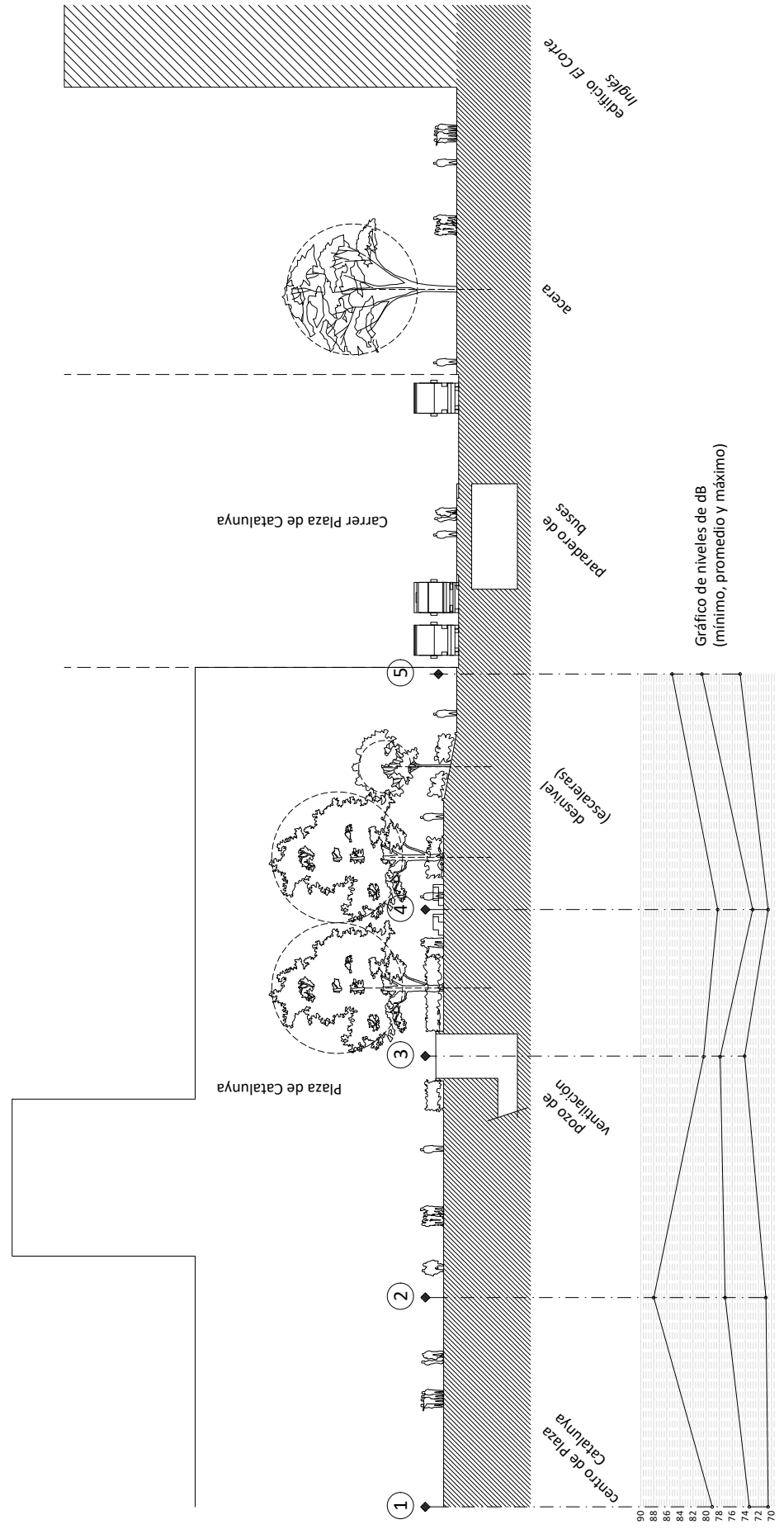
**Figura 61:** La presencia de vegetación y mobiliario urbano permite el descanso. Pocas personas se percatan de la presencia del pozo de ventilación (A). Fotografía de elaboración propia.



**Figura 62:** Las personas encuentran un pequeño sitio con silencio para descansar frente al pozo de ventilación y la vegetación (A). Fotografía de elaboración propia.



**Figura 63:** sección de la situación de entorno acústico urbano.  
Esquema de elaboración propia.





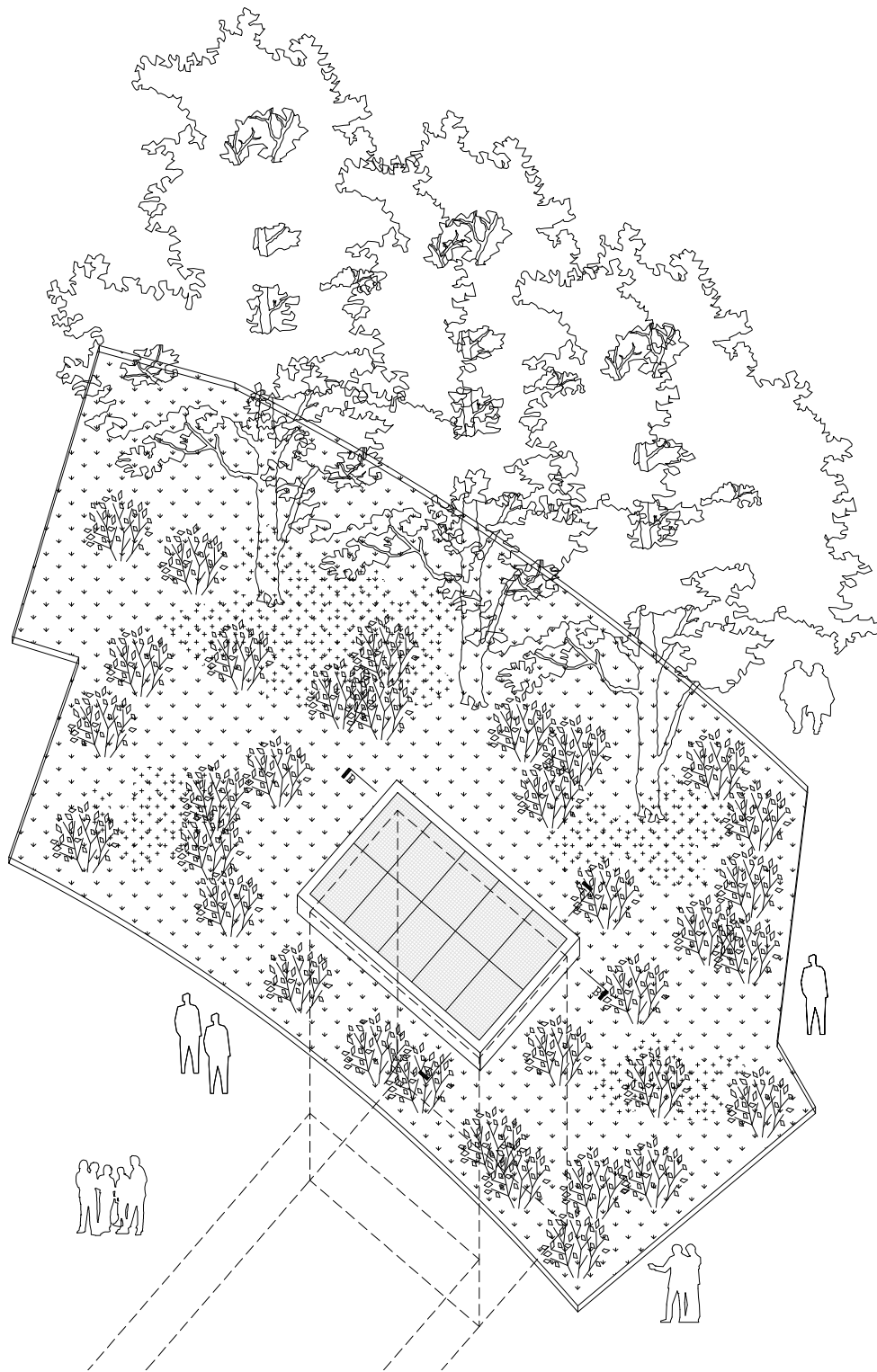
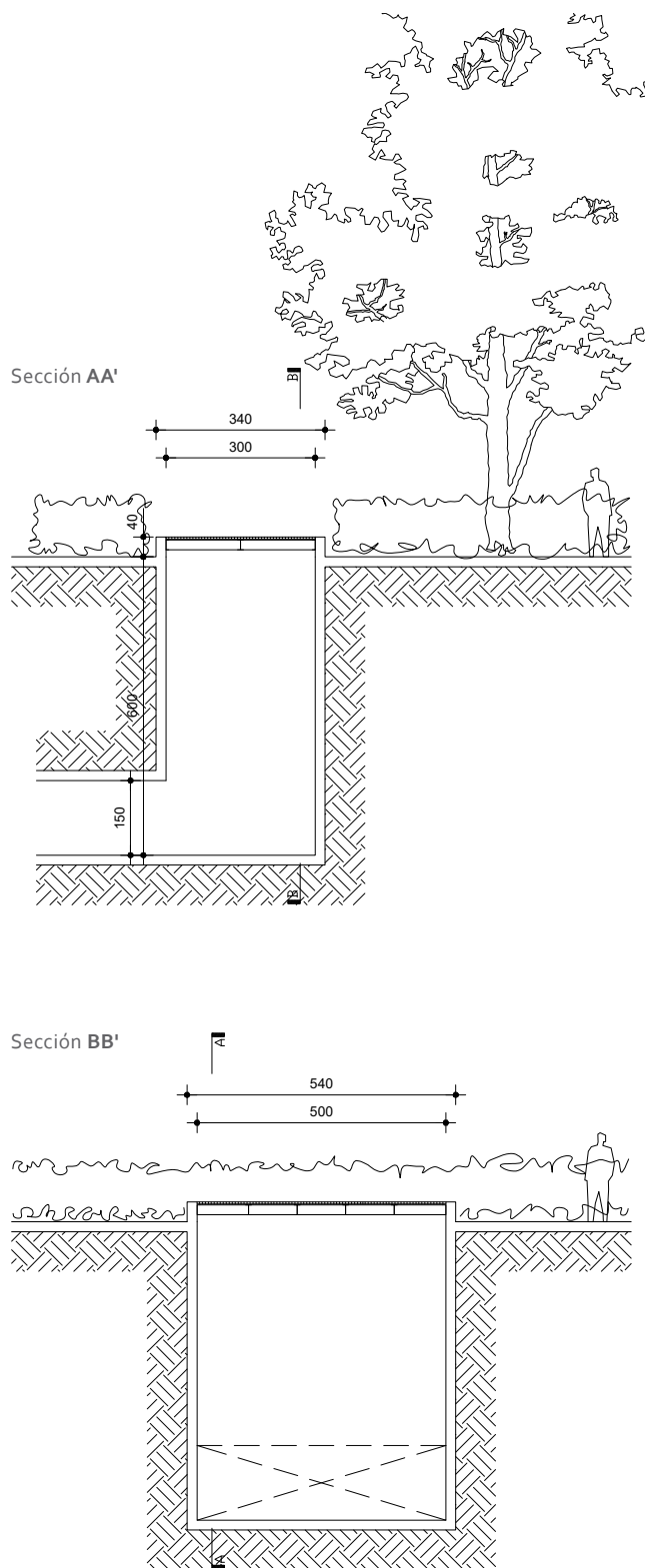


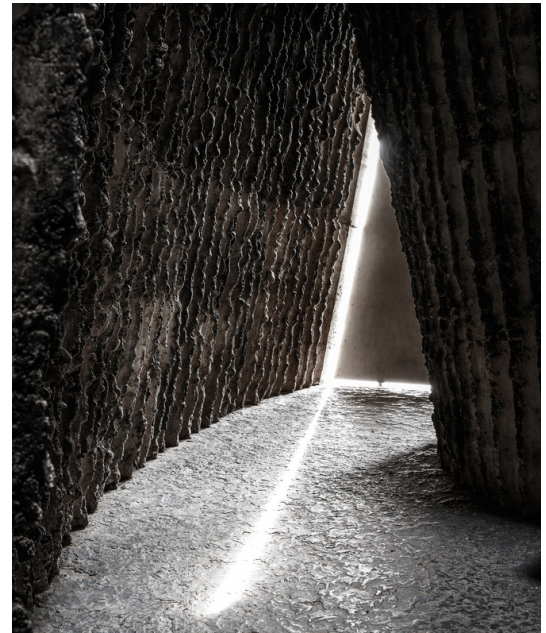
Figura 64: Vista en axonometría del pozo de ventilación de interés en Plaza Catalunya. Esquema de elaboración propia.



**Figura 65:** Secciones del pozo de ventilación.  
Esquemas de elaboración propia.



**Figura 66:** Sala de conciertos de Blainbach, Alemania.  
Peter Haimerl Architektur.



**Figura 67:** Capilla Bruder Klaus, Mechernich (Alemania).  
Peter Zumthor (Arquitecto)



**Figura 68:** Altavoz MA770, Master & Dynamic (EE.UU.)  
Diseño de David Adjaye (arquitecto)

En aspectos de espacialidad y texturas de superficie del pozo de ventilación, se mencionan ejemplos de hormigón acústico que incorpora vidrio en su composición (fig.65), texturas de superficie rugosa y muros no paralelos (fig.66), y un altavoz de hormigón mezclado con polímeros (fig.67) que mejora la potencia del sonido emitido. El material pétreo es tan favorable como otros materiales en funciones acústicas.

#### 4.4 ¿Cómo generar sonoridad arquitectónica en espacio público?

Tras establecer situaciones sonoras en el espacio público (capítulo II), el entendimiento de los instrumentos musicales a través de un cuadro de análisis para aplicar en arquitectura (capítulo III) y la aplicación del análisis para definir los pozos de ventilación de Metro como una oportunidad sonora urbana (capítulo IV), resulta lógico desarrollar el ejercicio de proponer soluciones que evalúen alternativas para integrar sonoridad al espacio público urbano.

La manera de hacerlo responde tanto al conocimiento arquitectónico como también al musical. Involucra orientar los sentidos hacia la percepción auditiva, con efectos sobre los aspectos constructivos y visuales de la arquitectura. La composición arquitectónica se ve enriquecida al considerar la sonoridad de los espacios y los materiales, otorgándole mayor significado a la temporalidad.

La lógica de funcionamiento de los instrumentos musicales resulta valiosa para pensar en soluciones arquitectónicas que busquen generar sonidos. La experiencia musical de un arquitecto entonces encuentra cabida para depositar valoraciones que afectan la percepción de la arquitectura. Situaciones cotidianas como caminar o permanecer sentado cobran relevancia sonora. La interacción de elementos sonoros y el espacio resonante en

que se ubican pueden alterar nuestra percepción favorablemente gracias a correcta relación entre arquitectura y música.

También existe una relación entre instrumento musical y su espacialidad, como se abordó en el capítulo III. Una campana de iglesia está diseñada considerando que sonará sostenida por un campanario y resonará en la ciudad. Su estructura nos habla de un instrumento musical urbano, que utiliza la ciudad como su espacio resonante. Del mismo modo, se diseñarán soluciones arquitectónicas considerando las características del material, geometría y acción, que generan distintos sonidos. Las aplicaciones variarán según el uso que se le pueda dar en espacios públicos, como parques de juegos, plazas, o bien aceras muy transitadas, o también según rango de edad y su grado de movilidad, según época del año, estación, clima, día o noche. Habrá entonces rangos de utilidad o de interpretación sonora: abierto a todos o restringidos, incluso sin interacción. Surgen interrogantes como ¿es posible que las personas generen musicalidad en la ciudad?, ¿dónde es más factible proponer sonidos en la ciudad?, ¿es favorable la interacción?

Por lo tanto, tanto en arquitectura como en música, la composición no tiene una fórmula. Según el análisis de este trabajo, cada intervención responde a las características del lugar y del juicio de quien orquesta la disposición de los elementos con el fin de generar ambientes determinados.

#### 4.5 Desarrollo de propuestas de elementos sonoros urbanos

La propuesta busca desarrollar mediante el diseño de un mecanismo sonoro una aportación al espacio público urbano del paisaje sonoro de Barcelona. En esa propuesta entonces es posible trabajar en varios aspectos: en el diseño del mecanismo del sonido (el accionador y el elemento oscilador), el desarrollo de resonadores espaciales (resonante) o el acondicionamiento de la espacialidad en que se ejecuta el sonido (volumen de aire y textura de la superficie), entre otros caminos posibles de desarrollo. **Para este trabajo, se consideró relevante desarrollar planteamientos de fuentes sonoras arquitectónicas, a través de la identificación de elementos accionadores y osciladores que aprovechen las características del lugar de intervención.**

##### 4.5.1 POZO DE VENTILACIÓN: IDENTIFICACIÓN DE ROLES SONOROS

Se identificó el pozo de ventilación como un espacio apropiado para el propósito del trabajo. El pozo de ventilación de Plaza Catalunya contiene elementos iniciales importantes: **rejilla en suelo que actúa como elemento oscilador, activado por personas con pisadas o similares; corriente de aire permanente, con posibilidades de utilizarse como activador de osciladores; espacialidad estable, con volumen de aire y textura de superficies fijas; y ubicación favorable**

**en espacio público relevante.**

##### REJILLA (ELEMENTO OSCILADOR)

Hoy, la reja es un elemento que no genera sonido. A pesar de ser metálica y que genere sonido por percusión, la instalación de este elemento de seguridad tiene uniones de seguridad que impiden la proyección sonora. Las rejillas están privadas de movimiento o deformaciones del material y sólo presentan movilidad cuando personal autorizado de mantención debe acceder al pozo. La rejilla del pozo está modulada en paneles de 1,5 x 1,0 mt, con uno de ellos abatible para permitir el paso de los funcionarios.

La rejilla tiene una trama cuadrada pequeña, de 1" x 1", formada por pletinas metálicas, con una gran proporción de apertura para permitir el paso del aire. Es posible proponer otro tipo de trama manteniendo la proporción de superficie abierta.

##### PISADAS (ACCIONADOR)

La rejilla del pozo permite el tránsito de personas sobre ella, generando posibilidades de interacción permanente con las personas y otros elementos. Las pisadas pueden ser aprovechadas por mecanismos que accionan o detienen a elementos osciladores, entregando a las personas la decisión temporal de modificar el sonido que el pozo genera.

#### CORRIENTE DE AIRE (ACCIONADOR)

Existe el problema de que el ventilador del metro emite sonido. Se puede amortiguar mediante sistema de absorción de la misma manera que se hace con equipo de AC en fachada en edificios. El aire que pasa podría ser silencioso para mantener neutra la espacialidad del pozo para una intervención.

El flujo de aire que pasa por el pozo no es homogéneo. El comportamiento del flujo es ascendente y diagonal, generando rincones de turbulencias y un centro que recibe mayor cantidad de aire. Esto determina que habrá zonas que reciben aire más intenso, que es donde sería favorable ubicar elementos que puedan ser activados por corriente de aire. La activación por este medio significa una fuente dependiente del funcionamiento de la red de Metro (estable), pero le resta posibilidades de interacción con las personas en la plaza. Aun así, se valora positivamente para las personas al tratarse de una acción novedosa.

#### ESPACIALIDAD DEL POZO (VOL. DE AIRE Y TEXTURA DE SUPERFICIES)

El pozo conecta por conductos el túnel del Metro con el exterior, la plaza. La velocidad normada determina el área del pozo, entregando recintos bajo nuestros pies que dan cabida a ese aire en movimiento. Se construyen principalmente de hormigón, con muros de contención planos y

terminaciones de obra que tienden a ser lisas.

Son espacios de acceso restringido, por lo que sus características de textura no sufren desgaste ocasionado por personas. Al estar cerrado al público, el pozo se propone como el lugar que albergue el o los elementos osciladores de la propuesta.

#### ESPACIO PÚBLICO URBANO (ENTORNO INMEDIATO)

Plaza Catalunya es un lugar altamente frecuentado por turistas. Es un espacio amplio y abierto, principalmente de pavimento, con algunas zonas de vegetación que cobran valor en el espacio urbano. Dentro de la vegetación se ubica el pozo de interés, que puede ser adaptado con vegetación adecuada al tránsito de personas, manteniendo el valor urbano de permanencia temporal. El área adyacente a la boca del pozo de ventilación en superficie sería el lugar influenciado directamente por la activación sonora propuesta.

Las propuestas consideran entonces el pozo como un elemento de volumen de aire medio, con textura de superficies lisas. Esto otorga a los sonidos un espacio amplificador, con capacidad resonante de frecuencias bajas y con accionadores constantes de corriente de aire y golpes.



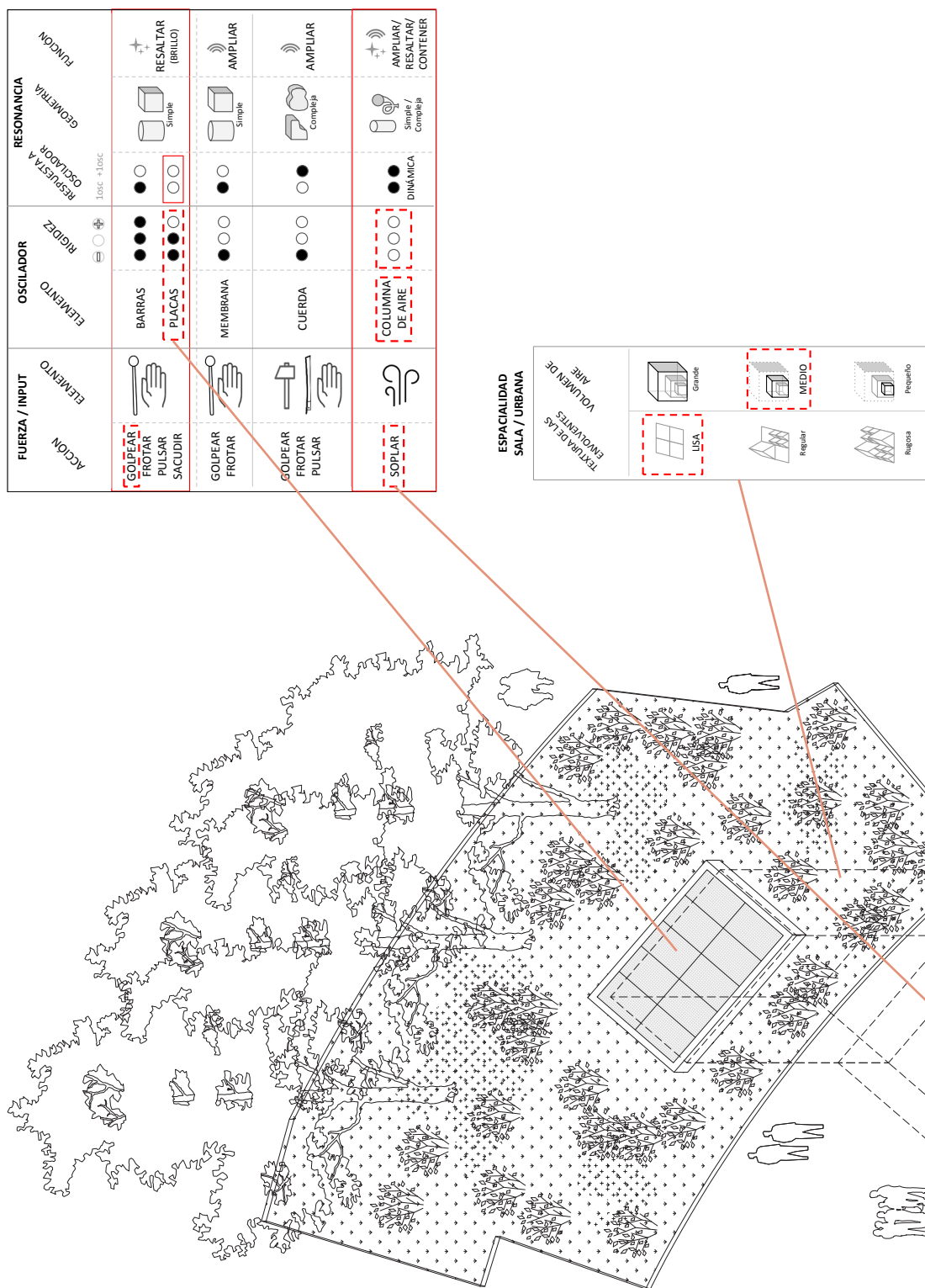


Figura 69: Situación del entorno inmediato del pozo y el análisis de sus partes según el cuadro de sistema sonoro musical y características acústicas espaciales. Esquema de elaboración propia.

#### 4.5.2 PROPUESTAS DE SISTEMAS GENERADORES DE SONIDO URBANO

El desarrollo de alternativas continúa con la evaluación de distintos tipos de estrategias sonoras basadas en la clasificación de instrumentos musicales. A modo general, al no tratarse del diseño de un instrumento musical en sí, se establece que no necesita generar gran variedad de notas musicales, siendo dos frecuencias las adecuadas para ser percibidas en el espacio público.

El criterio musical utilizado se basa en conseguir frecuencias determinadas, las que llamamos notas musicales. En la escala musical tradicional, las notas ordenadas de graves a agudas son DO, RE, MI FA, SOL, LA, SI. Cada una tiene una frecuencia determinada, a la cual se puede apuntar para afinar un elemento oscilador. Existe una frecuencia fundamental para una determinada nota, que luego se puede descomponer en sus frecuencias de resonancia o también llamados armónicos, que corresponden a multiplicaciones de la vibración fundamental del oscilador. Luego, se requieren mayores conocimientos musicales que no serán tratados en este trabajo. Sin embargo, es necesario saber que encontrando la nota fundamental de un oscilador, éste también podrá producir el resto de notas armónicas asociadas.

Además, se debe considerar el tono que la



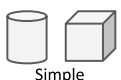

propuesta brindará. Al respecto, el profesor Daumal entrega algunas guías:

*"El concepto de 'diccionario de tonalidad' es suficientemente esclarecedor, porque expresa cuál es el carácter que una composición musical tiene por el tono en el que está compuesta y también, la relación de los diferentes tonos en una pintura. Entonces, en arquitectura acústica, podríamos definirlo como 'el carácter que tienen los sonidos de la arquitectura en función de los tonos que hay o que se han diseñado'.*

*La tonalidad o la presencia de sonidos tonales sucede generalmente cuando se produce una excitación de la frecuencia fundamental de resonancia del elemento constructivo. A menudo, la aparición de tonalidad no es ni tan solo planteada por el diseñador —quizás responde a las posibilidades del comportamiento sonoro de los materiales de la arquitectura—.*

*También es difícil hacer sonar diferentes melodías en un pavimento, pero es posible" (2007).*



FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +1osc	RESONANCIA	
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ		GEOMETRÍA	FUNCIÓN
GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS  PLACAS	 ● ● ● ● ● ○	● ○ ○ ○	 Simple	 RESALTAR (BRILLO)

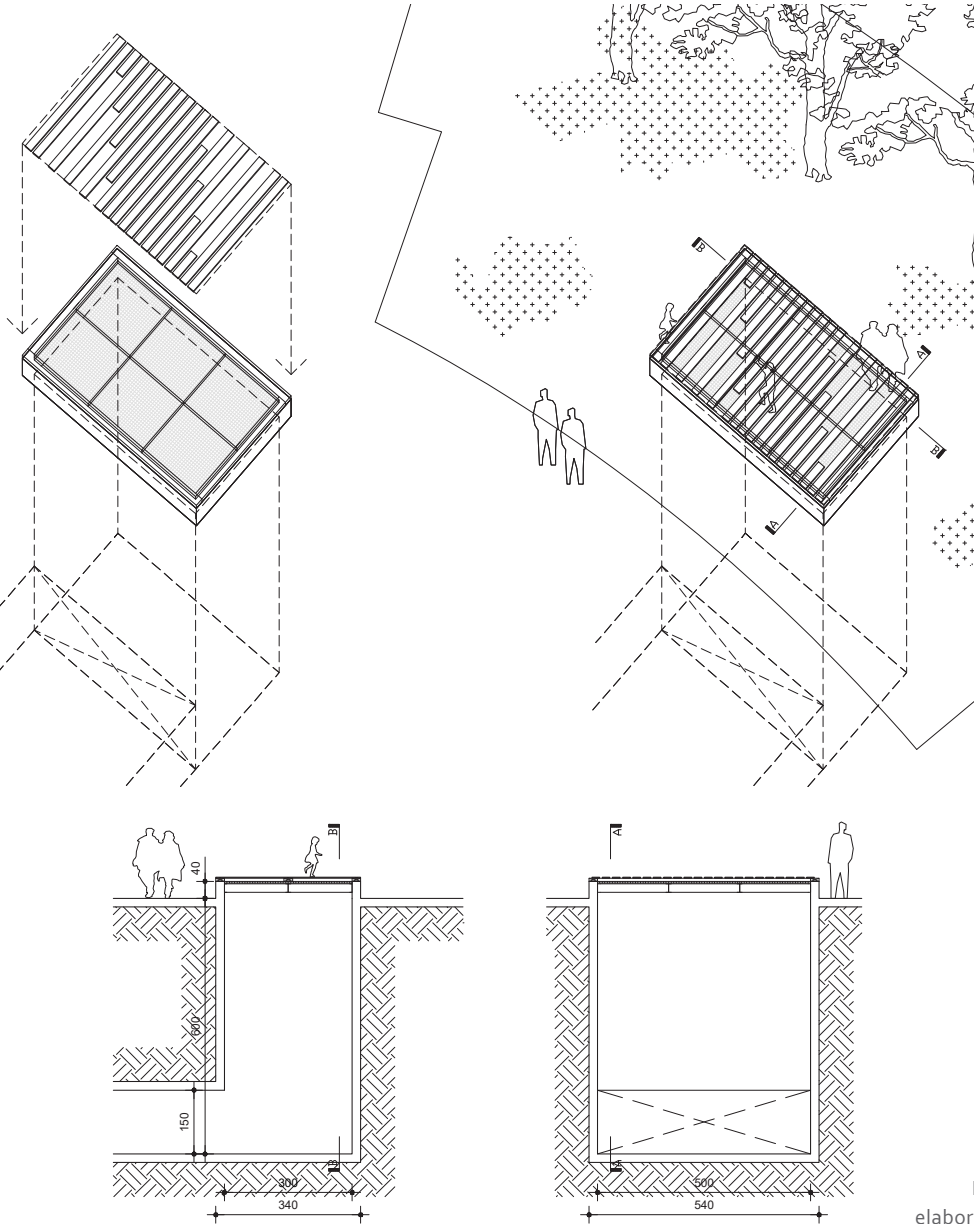


Figura 70:  
Esquemas de  
elaboración propia.

4.5.2.1 IDIÓFONO

Presenta la ventaja de no intervenir dentro del pozo. El diseño de la reja sería del tipo percusión, similar a un xilófono que suena según la longitud y espesor de cada pieza para generar distintas notas. El diseño de la reja consideraría como material la madera o metal, proponiendo barras que se

activarán por las pisadas de las personas sobre ella, interactuando directamente. La espacialidad del pozo aporta al brillo sonoro de las barras. La corriente de aire en este caso no tiene participación directa en el sistema sonoro. La intensidad del viento no es suficiente para activar el elemento oscilador.

FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +1osc	RESONANCIA	
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ		GEOMETRÍA	FUNCIÓN
GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA				AMPLIAR

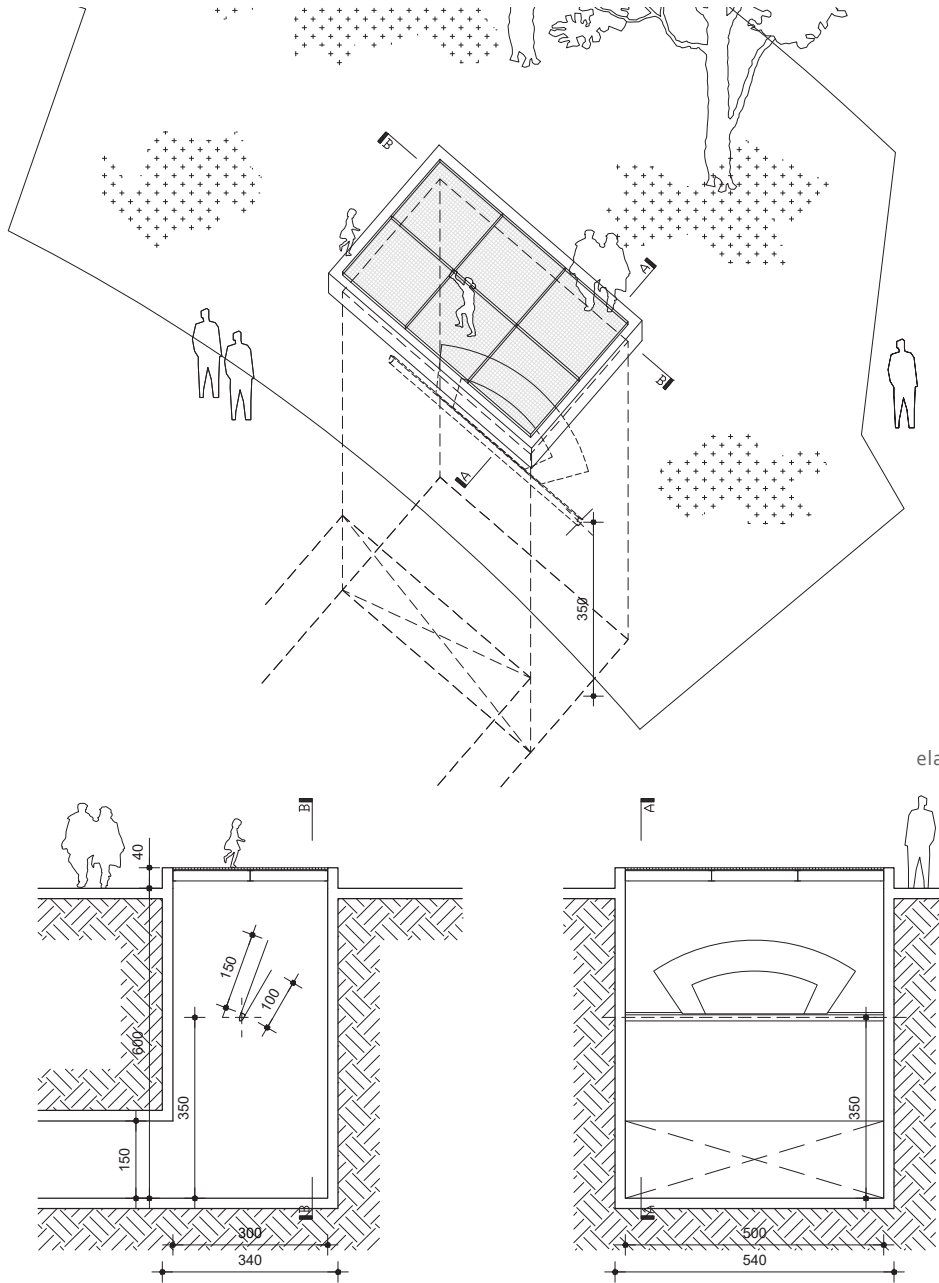







Figura 71:  
Esquemas de  
elaboración propia.

#### 4.5.2.2 MEMBRANÓFONO

Una membrana presenta mayores complejidades tanto en su instalación como en su cálculo de frecuencias. El método de activación de una membrana presenta muchas variables pero se reduce a la transmisión de vibraciones a un punto de su superficie. La idea de activarla por golpe, a

modo de tambor, no es adecuada como propuesta de intervención sonora. Sin embargo, como elemento sonoro es muy deseable su presencia ya que aprovecharía las cualidades espaciales del pozo, resaltando un sonido profundo y sostenido. Se puede evaluar su activación por acción del aire (frotación).

FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +1osc	RESONANCIA	
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ		GEOMETRÍA	FUNCIÓN
GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA			 Compleja	 AMPLIAR

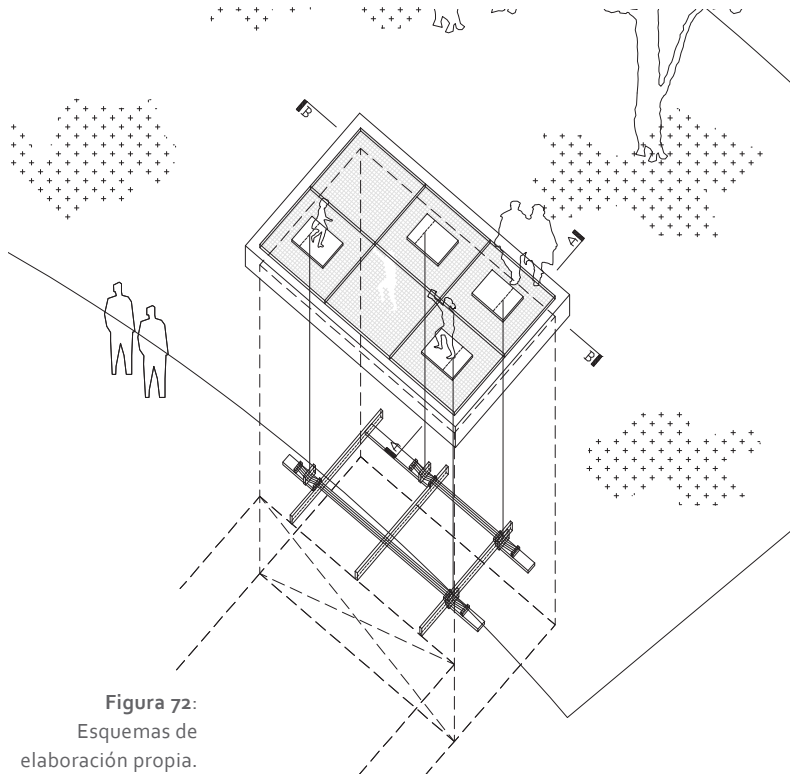


Figura 72:  
Esquemas de  
elaboración propia.

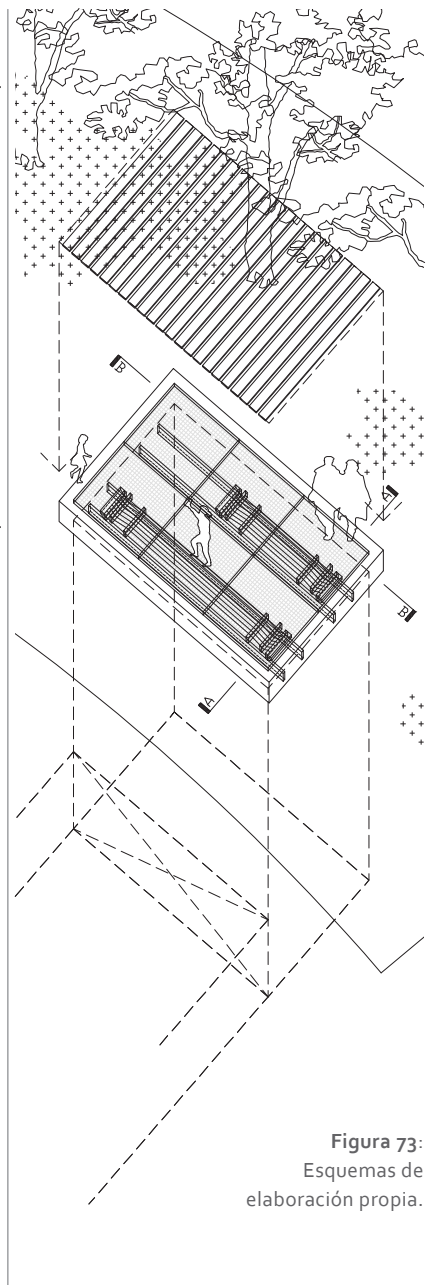
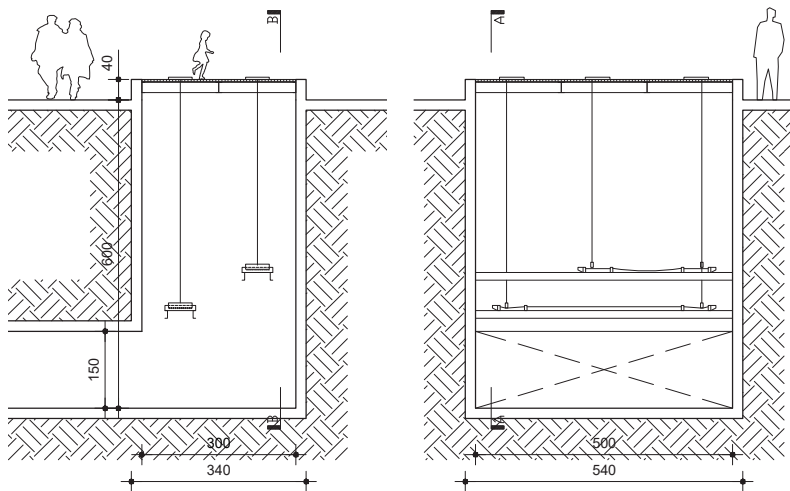


Figura 73:  
Esquemas de  
elaboración propia.

#### 4.5.2.3 CORDÓFONO

VARIANTE 1. Se pueden instalar cables, tanto en interior como en exterior del pozo (o ambas), para ser activados por acción percusiva (pisadas, manos) como también por corriente de aire. Se abren muchas posibilidades con este elemento oscilador, pudiendo explorar diferencias en

posición de cuerdas a diferentes alturas, su disposición vertical y horizontal, o combinaciones entre ellas. La variabilidad de las cuerdas respecto a su grosor y largo también produce variabilidad sonora.

FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +1osc	RESONANCIA	
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ 		GEOMETRÍA	FUNCIÓN
SOPLAR		COLUMNA DE AIRE		 DINÁMICA	 Simple / Compleja	 AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER

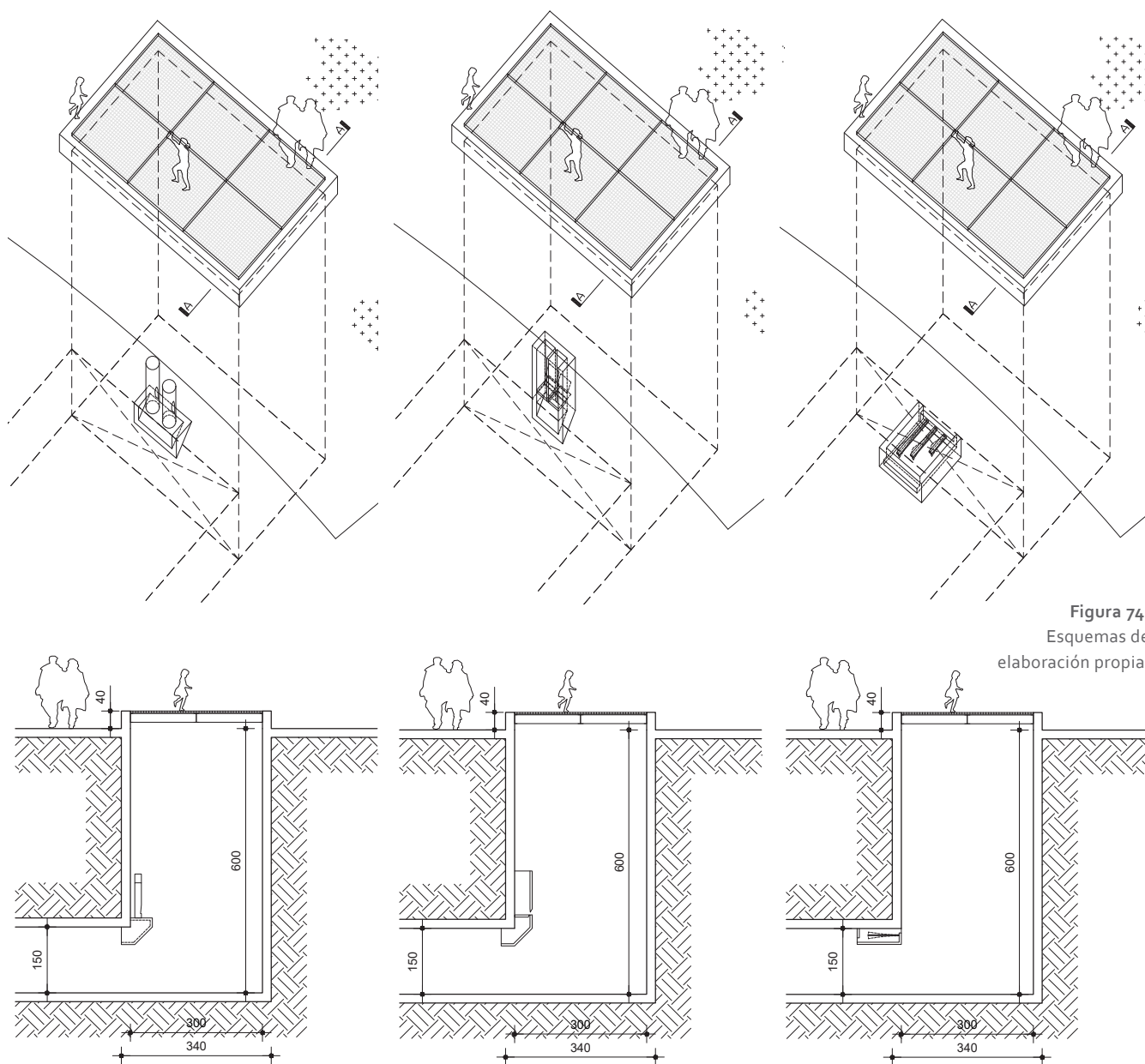







Figura 74:  
Esquemas de  
elaboración propia.

#### 4.5.2.4 AERÓFONOS

Una propuesta de aerófono considera la corriente de aire como el accionador principal. Consiste en la disposición de elementos contenedores de columnas de aire dentro del pozo, orientados de manera que capten el flujo y la intensidad de la corriente aérea. El sonido producido por

un elemento tipo aerófono dialoga bien con la espacialidad del pozo, con un sonido con cuerpo. Otra opción es ubicar elementos contenedores en la rejilla, con contacto directo a nivel de suelo. A diferencia de la propuesta anterior, ésta tiene interacción directa con las personas, quienes controlan con sus pies los silencios de los tubos.

FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR $1osc + 1osc$	GEOMETRÍA	FUNCIÓN
SOPLAR		COLUMNA DE AIRE		 DINÁMICA	 Simple / Compleja	 AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER

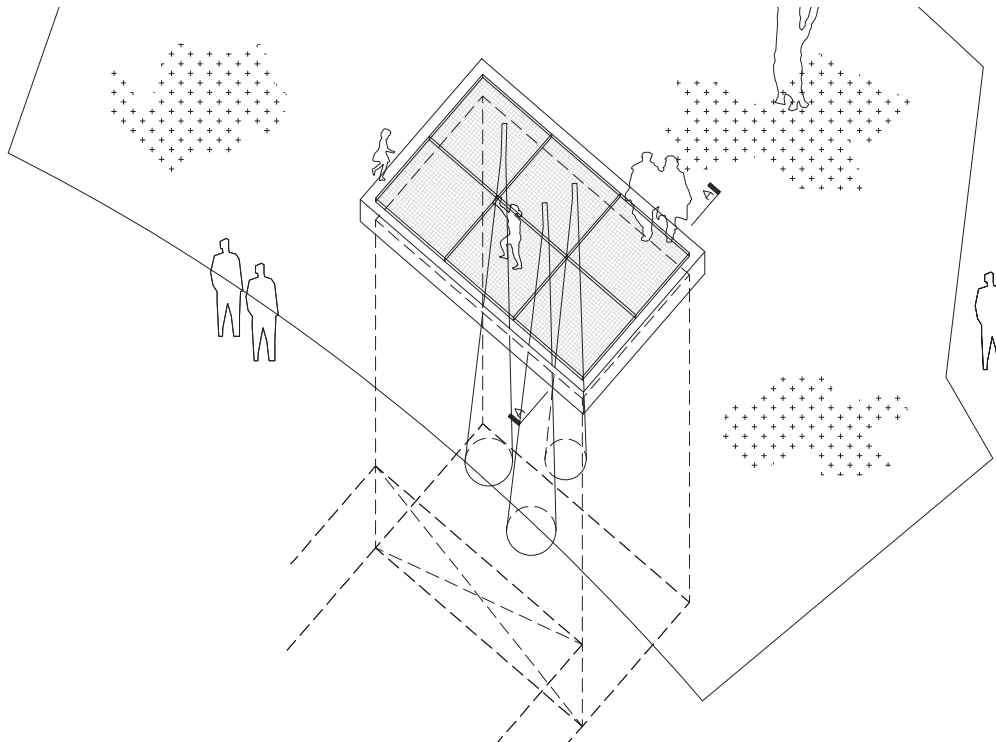
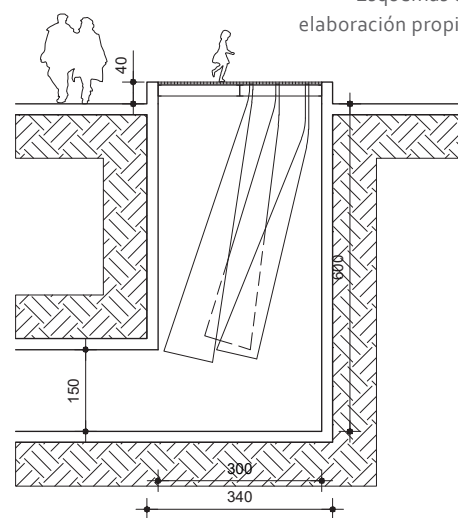


Figura 75:  
Esquemas de  
elaboración propia.

La instalación de largos tubos dentro del pozo tendrían que considerar grandes conos para recibir, conducir y aumentar la velocidad del aire del Metro. La sección del tubo se reduce para llegar al contacto directo con la rejilla, donde interactúa con las personas que pueden tapan el extremo e impedir el sonido. Es una propuesta compleja ya que requiere ubicar grandes elementos, además de que los tubos deben ser diseñados como instrumento musical con especialistas.



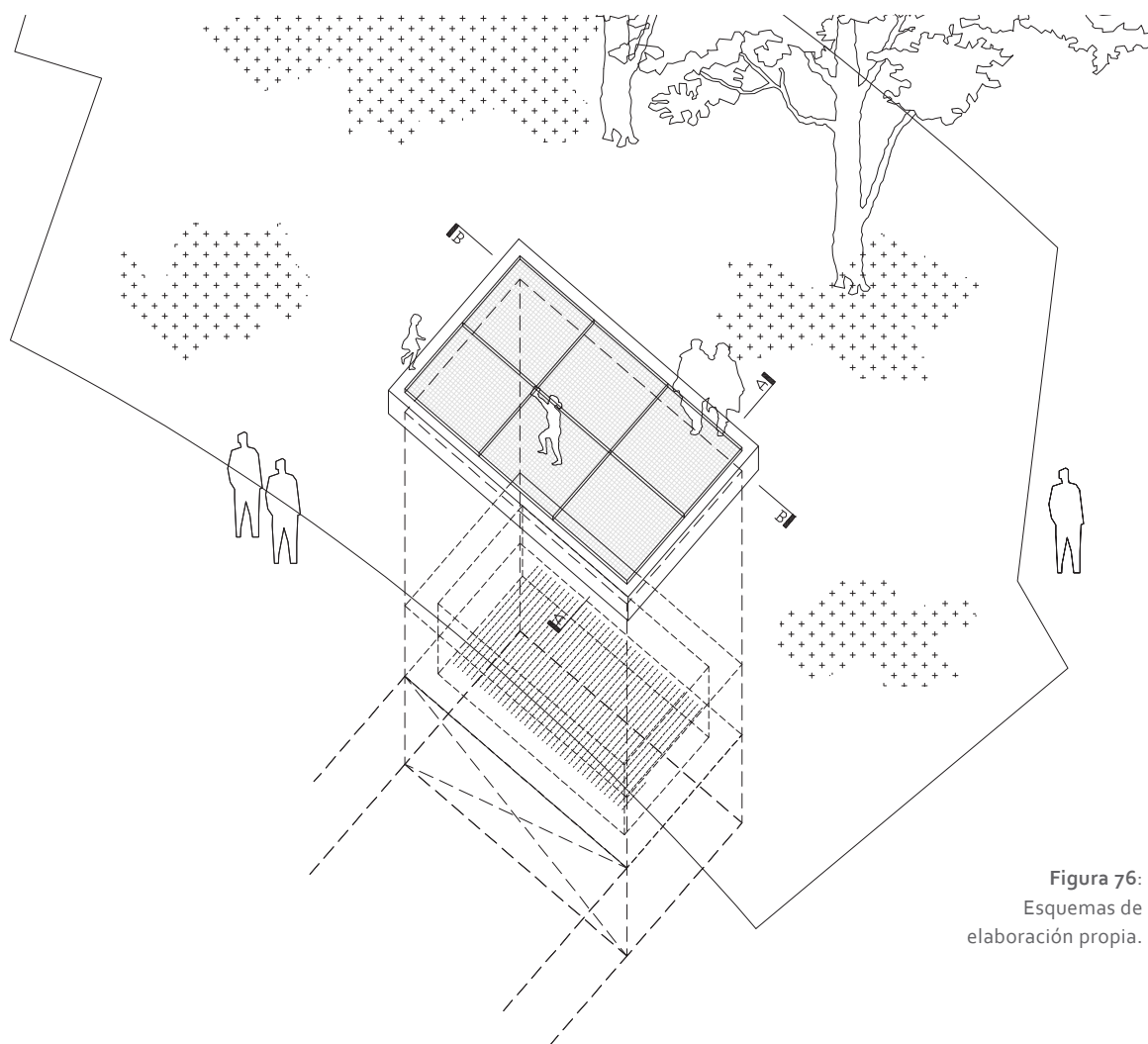
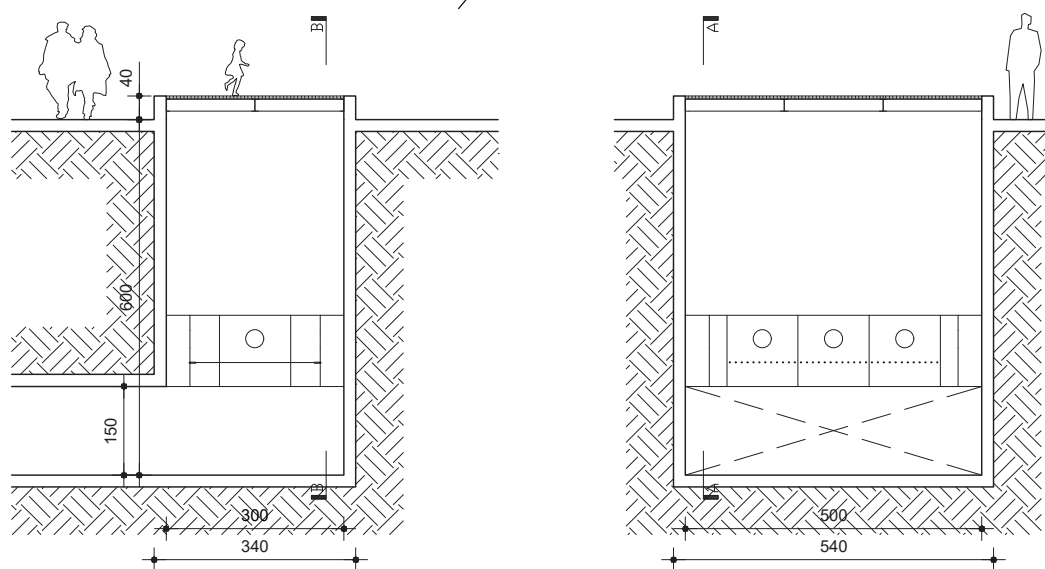


Figura 76:  
Esquemas de  
elaboración propia.








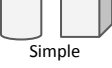






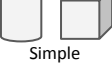

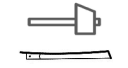





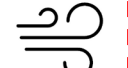




FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +1osc	GEOMETRÍA	FUNCIÓN
GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS			 Simple	 RESALTAR (BRILLO)
		PLACAS				
GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA			 Simple	 AMPLIAR
GOLPEAR FROTAR PULSAR	 	CUERDA			 Compleja	 AMPLIAR
SOPLAR		COLUMNA DE AIRE		 DINÁMICA	 Simple / Compleja	 AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER

Figura 77: Cuadro con elementos sonoros que se integran en la propuesta.  
Esquema de elaboración propia.



Figura 78: En el caso de estudio "Sound of Wind" (pp. 38), se instalaron cables a modo de cuerdas accionadas por viento, o como arpa eólica (pp. 24). La obra consiste en "una estructura de marcos con paneles de madera de curvas continuas con cables de 0.72mm cada 9,1 cm. Resuena a través de paneles de madera en muros, de grosor de 2.5 mm para incrementar la vibración".

Además, al contactar a la oficina de arquitectos acerca de la velocidad de aire para su activación, señalaron que es de 2,0 a 5,0 mt/seg, que es similar a la velocidad de aire presente en el pozo de ventilación de Plaza Catalunya (3 m/s).  
(Fuente: RAA - Ryuichi Ashizawa Architect & associates. Web: r-a-architects.com)

#### 4.5.3 PROPUESTA FINAL. VARIANTES.

Es la mezcla de elementos membranófonos, cordófonos y aerófonos. Dispone cables tensados que vibran por acción de la corriente de aire del pozo, que transmiten su vibración a un elemento tipo membrana que resuena, siendo este elemento el oscilador principal. Presenta complejidades y detalles arquitectónicos que deben desarrollarse,

pero genera sonoridades ricas en timbres y matices. Funciona sólo por acción del aire, aunque tiene proyecciones para desarrollar mecanismos que permitan intervenir el puente, para controlar la producción sonora. Formalmente, la disposición espacial y geométrica de los elementos puede resultar en un elemento escultórico, representando proyecciones de desarrollo artístico.

FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ 	RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +10sc	GEOMETRÍA	FUNCIÓN
GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS  PLACAS			 Simple	RESALTAR (BRILLO)
GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA			 Simple	AMPLIAR
GOLPEAR FROTAR PULSAR		CUERDA			 Compleja	AMPLIAR
SOPLAR		COLUMNA DE AIRE		 DINÁMICA	 Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER

Se pueden instalar membranas que dirijan el flujo de aire hacia las cuerdas. Otro juego de membranas se conectaría a través de un elemento puente para recibir las vibraciones de las cuerdas.

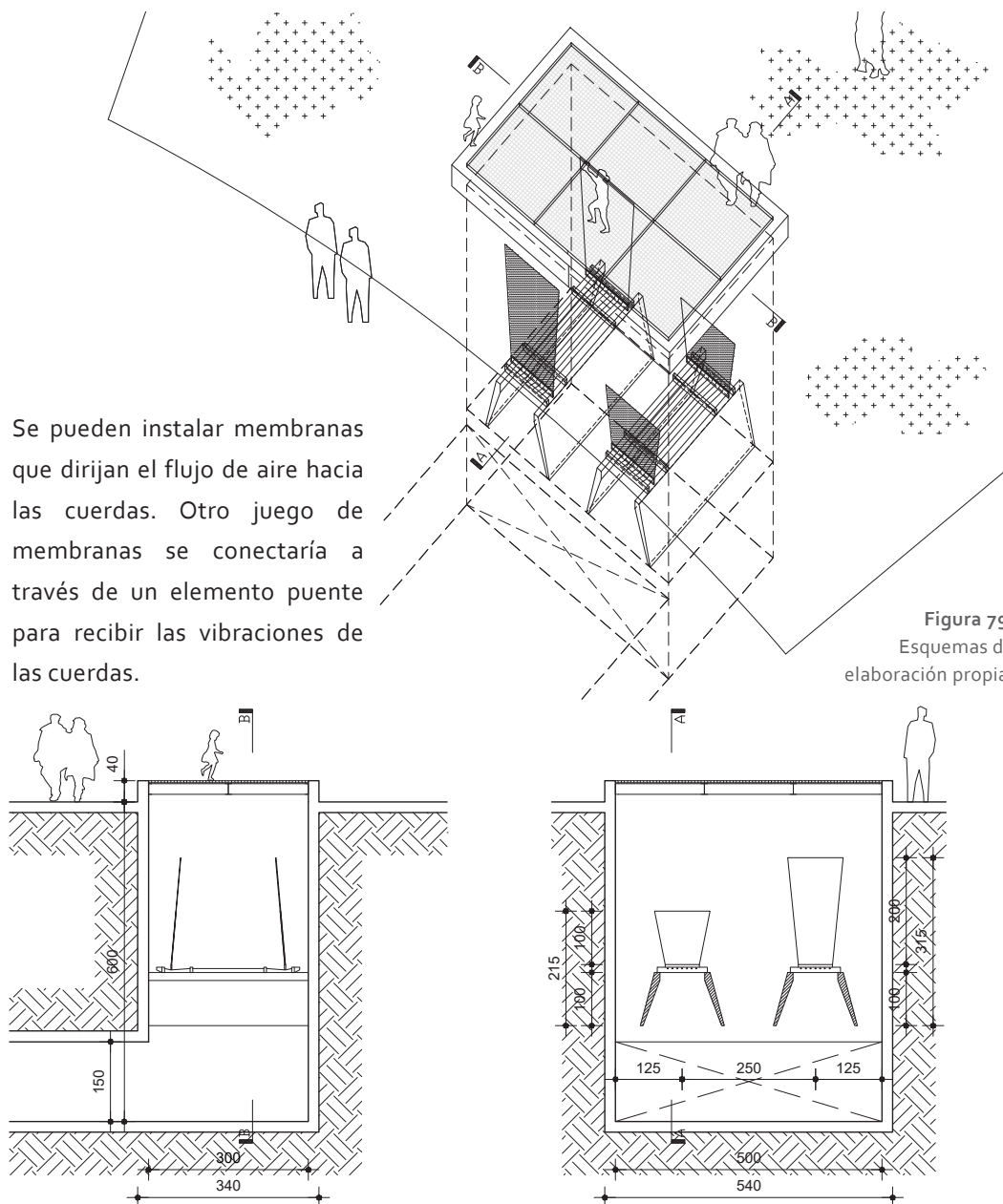









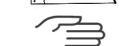









Figura 79:  
Esquemas de  
elaboración propia.

FUERZA / INPUT		OSCILADOR		RESONANCIA		
ACCIÓN	ELEMENTO	ELEMENTO	RIGIDEZ	RESPUESTA A OSCILADOR 1osc +1osc	GEOMETRÍA	FUNCIÓN
GOLPEAR FROTAR PULSAR SACUDIR		BARRAS			 Simple	RESALTAR (BRILLO)
GOLPEAR FROTAR		MEMBRANA			 Simple	AMPLIAR
GOLPEAR FROTAR PULSAR	 	CUERDA			 Compleja	AMPLIAR
SOPLAR		COLUMNA DE AIRE		 DINÁMICA	 Simple / Compleja	AMPLIAR/ RESALTAR/ CONTENER

Las membranas pueden tomar distintas formas y funciones. En este caso la membrana conectada con la pieza puente se ubica bajo las cuerdas, siendo resonador y conductor del aire al mismo tiempo.

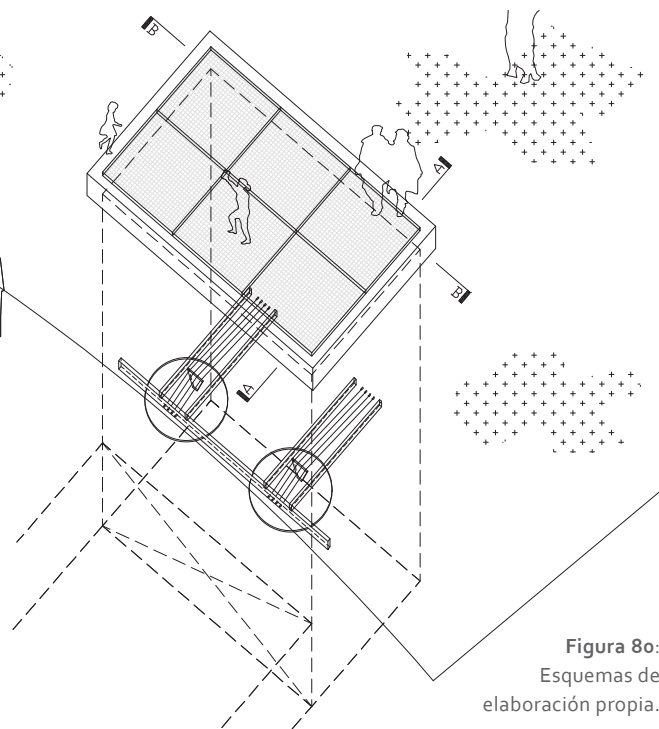
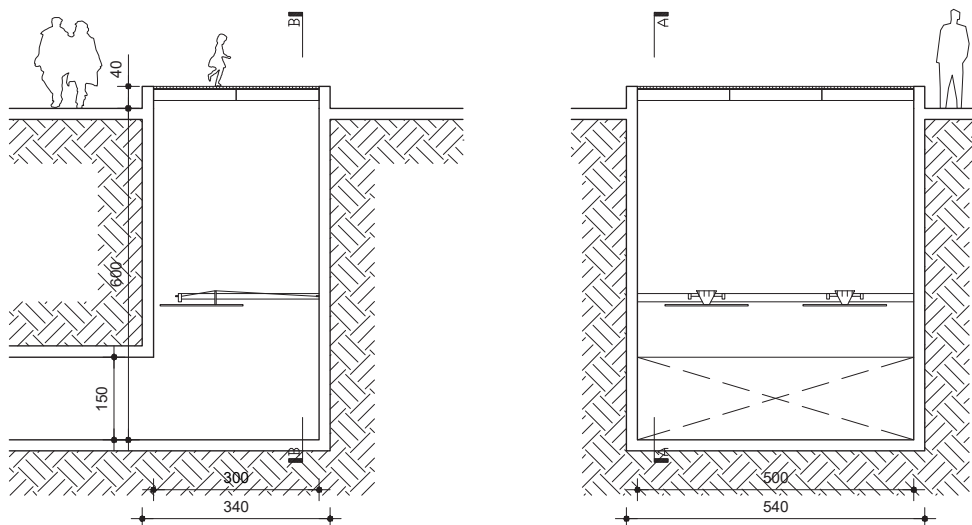


Figura 8o:  
Esquemas de elaboración propia.



#### 4.6 Consideraciones finales: afinación de la propuesta

Se pueden disponer capas de sonoridad. Si bien el desarrollo de la propuesta final se basa en un timbre único, es posible disponer de otras voces secundarias, lo que añade musicalidad, matices y texturas sonoras que pueden mejorar la experiencia sensorial. Además, como indica el profesor Daumal, *“debería existir la costumbre de diseñar las cosas con su sonido propio, porque a menudo nos encontramos con mecanismos que suenan diferente de lo que resultaría normal.”* (2007)

La interacción de las personas puede controlar los sonidos producidos, permitiendo diferenciarlo entre día y noche. El mismo sonido agradable puede ser percibido como molesto según la circunstancia (hora, evento, estación, día...). *“La consideración del sonido de los pavimentos debe basarse en justificaciones de convivencia social.”* (Daumal, 2007).

Se puede otorgar una dimensión de temporalidad a la intervención, permitiendo una interacción que funcione en ciertas ocasiones durante el año. También se puede considerar la interpretación que las personas hacen de los sonidos generados, ya que no se tratará de una pieza musical tradicional sino de una “canción” que se ejecutará según los ritmos propios de la ciudad. En ese sentido, se puede potenciar la poética de la propuesta sonora al considerar que ejecutará obras musicales que duran días, semanas o meses.

Con la propuesta final, se puede volver a evaluar su instalación en otros pozos de ventilación de Metro. Por lo tanto, conociendo sus reglas arquitectónicas, se puede adaptar la propuesta sonora al nuevo escenario urbano.

En espacio urbano presenta muchas fuentes sonoras consideradas ruidosas, por lo que es un objetivo aprovechar la propuesta como modelo para generar condiciones acústicas favorables y deseables.

Existe un valor en interpretar lo subjetivo en las experiencias de percepción humana para aplicar en propuestas en el espacio público, con el fin de conseguir estados de bienestar colectivo con los beneficios que ello significa. Al respecto, *“algunas respuestas atribuibles pueden ser placer, confort acústico, emoción o miedo. Resultados pueden ser cariño a un lugar, sentido de armonía, restauración del bienestar, apreciación de la naturaleza (mediante aves u otras especies). Todo genera preferencias en las personas, respuestas al entorno acústico. Una persona puede elegir un lugar por ser tranquilo, o por el contrario, por ser activo o emocionante.”* (6)

La propuesta es teórica pero se pueden elaborar modelos de comprobación física en base a los elementos proyectados (cuerdas, membranas, aire, entre otros), considerando que el fenómeno acústico no es escalable y que su elaboración es útil para verificar la correcta disposición de la relación de elementos sonoros.

(6) *“Soundscape and the Built Environment”*, editado por Jian Kang, Brigitte Schulte-Fortkamp (2016). Editorial CRC Press.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

### Oportunidad de revaloración urbana.

La intervención en el pozo de ventilación de Metro se configura como una acción de coste mínimo pero que mejora los valores sociales y urbanos, al transformar elementos residuales en elementos atractivos. Su planteamiento busca aportar a la discusión acerca de la importancia social de la sonoridad en la ciudad. Una aproximación es la que *"considera al sonido principalmente como un recurso, con la misma importancia de manejo que un recurso escaso como el agua, el aire y el suelo"*(7), ampliando el campo de oportunidades en la ciudad. En ese sentido, tanto las aplicaciones como sus escenarios son variados.

La viabilidad de la oportunidad propuesta y sus efectos depende de su consideración en futuros trabajos académicos y de la gestión con instituciones para colaborar en la realización de pruebas reales.

### Innovación en diseño sonoro.

La experiencia musical, artística y arquitectónica referida en el desarrollo de este trabajo es parte del esfuerzo por adaptarlas para el desarrollo de la propuesta.

La reinterpretación de técnicas de campos distintos genera aplicaciones arquitectónicas novedosas. Si bien este trabajo es teórico, tanto su valorización académica como industrial significarán su comprobación como una innovación para la arquitectura.

Aún así, se debe remarcar que un aspecto relevante de este trabajo radica en su capacidad de graficar el entendimiento del funcionamiento de varios instrumentos musicales existentes pero integrado en la estructura urbana, más que en proponer la creación de un nuevo instrumento musical. En ese sentido, representa un modelo de utilidad.

### Consideraciones sonoras en arquitectura.

La resolución de detalles y formalidades arquitectónicas busca resolver aspectos constructivos y estructurales que, mayoritariamente, sean satisfactorios en términos visuales. En su definición, el arquitecto busca relaciones significativas en el arte y otros campos. Sin embargo, en ese proceso *"uno puede dejar de lado la escultura o la pintura, pero la música nos rodea, al igual que lo hace el espacio de la arquitectura"* (8), es decir, contiene sensibilidades sonoras que no podemos dejar de considerar en la búsqueda por generar arquitectura significativa.

### Tecnología y sonido

*"La tecnología acústica y la arquitectura pueden unirse en el diseño cotidiano de los espacios en que se desarrolla la actividad del ser humano"* (9).

Por lo tanto, en la configuración del espacio urbano, los pozos de ventilación y otras fuentes sonoras arquitectónicas son elementos que sirven de base para desarrollos tecnológicos en sonoridades urbanas.

(7) *"Soundscape and the Built Environment"*, editado por Jian Kang, Brigitte Schulte-Fortkamp. 2016. CRC Press.

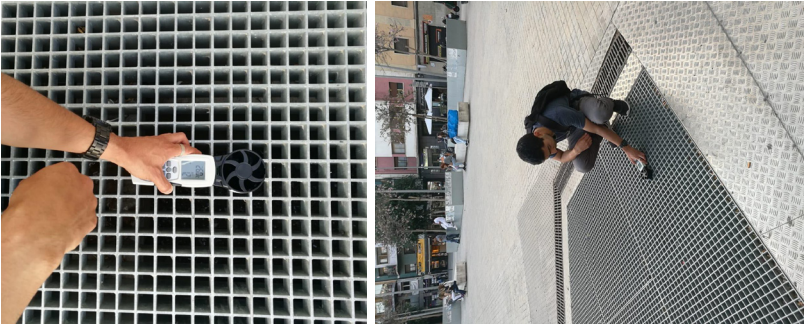
(8) HOLL, Steven: *"Cuestiones de percepción. Fenomenología de la arquitectura"* (2011). Editorial Gustavo Gili.

(9) MARIETAN, P.: *Recherches musicales et expérimentation d'espaces sonores architecturaux. Présentations Tematiques de la Recherche Architectonique*. París, Ministère de la Culture, 1989.)

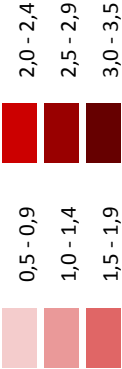








VELOCIDAD DEL AIRE MTS / SEG



INFORMACIÓN DEL LUGAR

Fecha: 01 de junio de 2018  
Ubicación: Plaza Metro Collblanc  
Hora: 20:30  
Duración: 10 mins

Temperatura: 23°C (26,6°C anemómetro)  
Humedad: 68%  
Viento: s 3,05 mt/seg (11 km/hr)

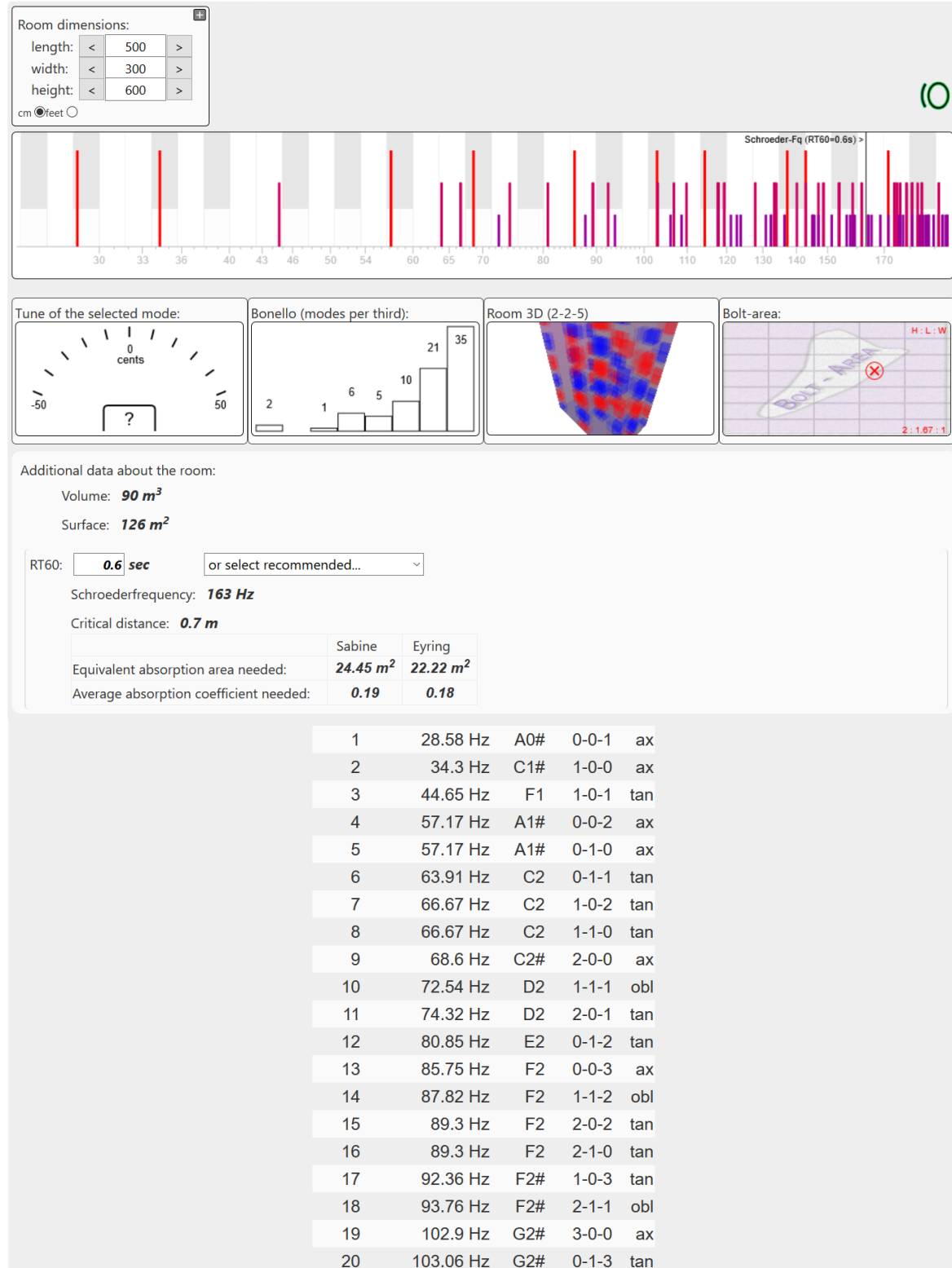
Toma de datos con anemómetro. Velocidad de aire expulsado a nivel de rejilla en estación Collblanc (L5 y L9).

# amroc

For those who still use the ancient java-applet

THE Room Mode Calculator

[More about room modes and this calculator](#)



Simulación de volumen de pozo de ventilación (500 x 300 x 600 cm) y su modo acústico. Se determinan frecuencias bajas, de entre 28.58 Hz y 103.06 Hz en sus primeros 20 iteraciones (195.46 Hz en iteración 107). Con esto se puede previsualizar el sonido

adecuado para proponer en el pozo, siendo uno de frecuencia baja en nota *sol*.

Fuente: Imagen obtenida de <https://amcoustics.com/tools/amroc?l=500&w=300&h=600&r60=0.6>

# GLOSARIO

*Los siguientes términos fueron extraídos del libro "Arquitectura acústica. Poética y diseño", del profesor Francesc Daumal. Se referencian los términos considerados afines a este trabajo con el propósito de apoyar su lectura.*

## **Ámbito de sonido**

Entorno del sonido. Técnicamente se considera cualquier porción del entorno del sonido visita como campo estudio. En término puede referirse a entornos de hecho o a construcciones como las composiciones musicales y el montaje de cintas, especialmente cuando son consideradas como un entorno.

## **Brillantez**

La brillantez de un sonido rico en armónicos. Proviene de una ligera amplificación de los agudos con una curva de decrecimiento lenta. Está vinculada a la duración del retraso de las primeras reflexiones, a la relación del tiempo de reverberación de los agudos respecto de los medios, a la distancia entre el oyente y los ejecutantes, y a la presencia de superficies reflectantes. Una sala "viva", "clara" e "íntima" tiene un sonido brillante.

## **Campo acústico**

En la porción de espacio en el que la perturbación provocada por la fuente sonora es apreciable.

## **Decibel (dB)**

En la unidad usual para las mediciones acústicas. Un decibel de presión o de intensidad sonora es equivalente a la menor variación sonora capaz de ser percibida por el oído humano medio.

El decibel indica en qué proporción un sonido es más fuerte que otro denominado de referencia (umbral de audición). La intensidad de referencia es  $I_0=10^{-12} \text{ W/m}^2$ , la presión de referencia es  $P_0=2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ .

Se define el decibel como diez veces el logaritmo de la intensidad acústica existente en un lugar, referida al umbral de audición, o 20 veces el logaritmo de la relación de la presión sonora de este lugar, referida al umbral de audición.

$$L_dB = 20 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

donde:

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Se utiliza una relación logarítmica para la medición de sonido según la ley de Weber-Fechner (el ser humano no percibe el sonido de una forma proporcional al estímulo que provoca la sensación). La letra A añadida a las siglas dB indica que la medición sea tomada en cuenta la ponderación A

según las frecuencias de sonido.

## **Diseño acústico**

El diseño acústico se basa en los principios poéticos mediante los cuales la calidad estética, entorno acústico o ámbito de sonido puede mejorarse.

Para conseguirlo, es necesario concebir el ámbito del sonido como una ingente composición musical, que nos envuelve incesantemente y preguntarse cómo se pueden mejorar su forma y orquestación para que nos ofrezcan una riqueza y una diversidad de efectos que, sin embargo, nunca tienen que destruir la salud o el bienestar humano.

Los principios de diseño acústico pueden así incluir la eliminación o restricción de ciertos sonidos (marcas sonoras) y, por encima de todo, el emplazamiento imaginativo de sonidos para crear un entorno acústico atractivo y estimulante para el futuro. El diseño acústico también puede incluir la composición de modelos de entorno y, en relación con ello, el contiguo a la composición musical contemporánea.

## **Eco**

Un eco está creado por una reflexión suficientemente retardada y fuerte, para ser entendida como sonido separado. El efecto de eco es debido (entre otras causas) a un mal reparto de las superficies reflectantes.

## **Ecología acústica**

La ecología es el estudio de las relaciones entre los organismos vivos y su entorno. Así pues, la ecología acústica es el estudio de los efectos del entorno acústico y el ámbito de sonido en la respuesta físicas o características de comportamiento de los seres vivos. Su propósito específico consiste en prestar atención a los desequilibrios que pueden tener efectos no saludables o perjudiciales.

## **Frecuencia**

La frecuencia  $f$  de un sonido es el número de veces que vibra por unidad de tiempo.

La unidad de medida es el Hertz (Hz), que equivale a un ciclo por segundo.

Por definición, la frecuencia es el inverso del periodo  $T$ .

$$f = \frac{1}{T}$$

La frecuencia determina el tono de un sonido, grave para frecuencias bajas o agudos para frecuencias altas.



### **Intimidad**

Una sala pequeña ya tiene la intimidad del aspecto visual y auditivo. Una sala grande no la tendrá salvo que los sonidos suenen como se hubiesen sido ejecutados dentro de la pequeña sala anterior. Esta sensación de las dimensiones de la sala viene dada por el retraso de las primeras reflexiones, que es el intervalo de tiempo entre el sonido que llega directamente al oído del oyente y el de las primeras reflexiones provenientes de los muros y del techo. En la sala definidas por los músicos como “íntimas”, el retraso es bastante pequeño (inferior a 20 ms). Vivacidad, calor y fuerza de los sonidos directos y reverberantes está en el segundo lugar después de la intimidad, de acuerdo a la importancia de los detalles algunos acústicos, para los cuales el criterio de intimidad es aproximadamente tres veces más importante que los demás.

### **Marca sonora**

El término contiene el nombre marca porque se refiere al sonido de una comunidad que es único o que posee cualidades que hacen que sea considerado o percibido así por las personas de esta comunidad.

### **Materiales acústicos o aislantes**

Materiales que por sus propiedades aportan una mejora notable a la solución constructiva desde un punto de vista acústico, ya que presentan alguna de las propiedades siguiente:

Masa superficial elevada. Buen trabajo de la ley de masa como con el simple. Aislante al sonido aéreo. Porosidad abierta. Absorción acústica elevada, con reducción de reverberación del recinto (y del ruido). Absorbente.

Elasticidad elevada. Rigidez dinámica muy baja que evita la formación de puentes acústicos. Aislante de la vibración y los golpes de impacto.

### **Objeto sonoro**

Según Pierre Schaffer, el objeto acústico para la percepción humana (como un objeto matemático o electroacústico para la síntesis).

El objeto sonoro se define, pues, por el oído humano, como la partícula más pequeña contenida en un ámbito de sonido, y analizable mediante las características de su entorno. Aunque el objeto sonoro puede ser referencial (por ejemplo, una campana, un tambor, etc.), ha de considerarse, principalmente por sus cualidades referenciales, como un suceso sonoro.

### **Octava**

Es la banda de frecuencia comprendida entre una frecuencia y su doble.

Las octavas normalizadas son diez, que tienen por frecuencia centrales 31, 62, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000, 8.000 y 16.000 Hz. En arquitectura, las más importantes son las de 125 a 4.000 Hz.

### **Onda sonora**

En una vibración del aire caracterizada por una sucesión periódica en el tiempo y en el espacio de compresiones y expansiones.

### **Reverberación**

El sonido que persiste en un punto de un local interior o exterior después de la recepción directa de la fuente cuando ésta ya efectuado la emisión de energía.

Como es lógico, es función de las reflexiones sonoras que llegan ligeramente desfasadas en el tiempo en relación con la onda directa.

### **Rigidez dinámica**

Es la magnitud inherente al material que revela su capacidad de actuar como muelle.

Se define como la relación entre el módulo de elasticidad y el grosor del material.

Cuanto más pequeña de rigidez dinámica es un material, más apto es para comportarse como un muelle y mejores serán sus prestaciones acústicas si se utiliza convenientemente al golpe impacto.

### **Ruido**

Tiene gran variedad de significados y matices de significado, de los cuales destacan como más importantes:

Sonido rechazado; sonido conjunto de sonidos inarmónicos.

Sonido musical; el físico Hermann Helmholtz utilizó en el siglo XIX el término ruido para describir un sonido compuesto por vibraciones no periódicas (el murmullo de las hojas), comparación con los sonidos musicales, que consiste en vibraciones periódicas. Aún se utilice en este sentido en expresiones como “ruido blanco” o “ruido gaussiano”.

Cualquier sonido fuerte; en general, en el uso actual, por ruido la gente se refiere a menudo a sonidos especialmente fuertes. En este sentido el

control jurídico del ruido prohíbe ciertos sonidos fuertes o establece sus límites permisibles en decibeles.

Perturbación en cualquier sistema de señal; la definición más satisfactoria de ruido, para el uso general, continúa siendo la de "sonido rechazado". Esto lo convierte en un término subjetivo. Lo que para alguien es música, para otro puede ese ruido. Pero deja abierta la posibilidad de que en una sociedad haya más acuerdo que desacuerdo en lo que constituye una interrupción rechazada. Nótese que cada idioma preserva matices únicos de significado por el término ruido.

En una sala de audiciones, nunca han de poder escucharse los ruidos exteriores (calles, metros, trenes, aviones), ni los que provienen de otras salas, ni los producidos por los sistemas de ventilación y/o climatización.

El aislamiento acústico y el tratamiento acústico de las fuentes del ruido se han de tratar desde el inicio del proyecto, y la ejecución debe seguirse con la máxima atención.

### **Sonido**

Es la energía y la sensación auditiva provocada por las ondas acústicas.

### **Sonómetro**

Aparato destinado a medir el nivel de intensidad de los sonidos en dB.

### **Tiempo de reverberación**

El tiempo de reverberación de una sala es el tiempo que tarda un sonido en disminuir 60 dB desde que se extingue la fuente productora del sonido.

En rigor, las salas no reaccionan igual a todas las frecuencias, por lo que el tiempo de reverberación de una sala es función de la frecuencia y, por tanto, no hay un tiempo de reverberación único. Se suele dar el valor del tiempo de reverberación a frecuencias medias (centradas en las octavas de 500 a 1.000 Hz).

El tiempo de reverberación óptimo de una sala depende del uso a que está destinada y de su volumen. Las normas suelen recomendar unos tiempos de reverberación. Para usos específicos, como el de salas de conciertos de auditorios, hay diversas teorías sobre tiempo de reverberación adecuado en función del tipo de música, el

volumen, el área de audiencia, la apreciación subjetiva, etc.

El tiempo de reverberación es directamente proporcional al volumen de local e inversamente proporcional a la cantidad de absorción acústica de la sala (acabados superficiales, ocupantes, mobiliarios, etc.)

Para cálculos rápidos, se utiliza la fórmula de Sabine:

$$Tr = 0.16VS\alpha$$

donde:

V = volumen de la sala, en m<sup>3</sup>

S = superficies absorbentes, en m<sup>2</sup>

$\alpha$  = coeficiente de absorción de una superficie, en sabines métricos.

### **Tonalidad**

Igual que un instrumento musical, una sala tiene una tonalidad que puede ser más o menos agradable. Este criterio puede ser degradado por un desequilibrio de las frecuencias audibles en diferentes puntos de la sala o por la presencia de ondas estacionarias o de ecos fluctuantes.

En los elementos arquitectónicos, la tonalidad puede definirse como la producción de sonidos en ciertos tonos, más o menos afinados, a causa de la excitación de las frecuencias propias del recinto, o bien por persecución de elementos que producen tonos por su estructura, forma o disposición específica.

### **Velocidad del sonido**

Las ondas sonoras se desplazan en el medio transmisor a una velocidad determinada, denominada velocidad del sonido que es vectorial; normalmente se trabaja con el término escalar dado por la celeridad.

En el aire, la velocidad del sonido es función de la presión atmosférica, de la temperatura y humedad. En condiciones normales, esta celeridad del sonido tiene pocas variaciones y puede estimarse en 340 m/s.

Hay una relación entre la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad del sonido:

$$c = f\lambda$$

donde:

c = celeridad del sonido, en m/s

f = frecuencia de sonido, en Hz

$\lambda$  = longitud de onda correspondiente en esta frecuencia, en m.

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1:** Imagen recuperada de "The Soundscape : our sonic environment and the tuning of the world", SCHAFER, R. Murray, (1977). Rochester, Vermont (EE.UU.). Editorial Destiny Books.

**Figura 2:** Imagen recuperada de "Soundscape and the Built Environment", editado por Jian Kang, Brigitte Schulte-Fortkamp. 2016. CRC Press. Imagen recuperada de Google Books, books.google.es

**Figura 3:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 4:** Imagen recuperada de "Creatividad sonora en el pavimento. El paisaje sonoro a nuestros pies" (2007). I Encuentro Iberoamericano sobre Paisajes Sonoros. Disponible en: [https://cvc.cervantes.es/artes/paisajes\\_sonoros/p\\_sonoroso1/default.htm](https://cvc.cervantes.es/artes/paisajes_sonoros/p_sonoroso1/default.htm)

**Figura 5:** Ídem. figura 4.

**Figura 6:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 7:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 8:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 9:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 10:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 11:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 12:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 13:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 14:** Esquema de elaboración propia en base a clasificaciones existentes.

**Figura 15:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 16:** Imagen recuperada de: <http://szzljy.com/xylophone.html>

**Figura 17:** Imagen recuperada de: <https://www.guitarcenter.com/>

**Figura 18:** Imagen recuperada de: <https://www.guitarcenter.com/>

**Figura 19:** Imagen recuperada de: [https://www.long-mcquade.com/65065/Band---Orchestral/Trumpets/Jupiter/Standard-Student-Bb-Trumpet-](https://www.long-mcquade.com/65065/Band---Orchestral/Trumpets/Jupiter/Standard-Student-Bb-Trumpet-with-Case.htm)

[with-Case.htm](https://www.long-mcquade.com/65065/Band---Orchestral/Trumpets/Jupiter/Standard-Student-Bb-Trumpet-with-Case.htm)

**Figura 20:** Imagen recuperada de: <http://ajuntament.barcelona.cat/museumusica/en/blog/supersonic-en-quete-de-linoui>

**Figura 21:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 22:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 23:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 24:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 25:** Esquema de elaboración propia sobre imagen de Wikipedia. Imagen recuperada de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeolian\\_harp\\_in\\_the\\_old\\_castle\\_of\\_Baden\\_Baden\\_-\\_Project\\_Gutenberg\\_eText\\_14097.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeolian_harp_in_the_old_castle_of_Baden_Baden_-_Project_Gutenberg_eText_14097.png)

**Figura 26:** Esquema de elaboración propia sobre imagen de internet. Imagen recuperada de: <http://www.icarito.cl/2010/03/el-piano.shtml/>

**Figura 27:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 28:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 29:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 30:** Imagen recuperada de: <http://sinyoken.sakura.ne.jp/caffee/cayomoo4o.htm>

**Figura 31:** Imagen recuperada de: <http://ht-atelier.com/>

**Figura 32:** Imagen recuperada de: <http://www.howeleryoon.com/projects/white-noise-white-light>

**Figura 33:** Imagen recuperada de: <http://web.mta.info/mta/aft/permanentart/permart.html?agency=nyct&line=E&station=10&xdev=0>

**Figura 34:** Imagen recuperada de: <https://brettworks.com/2011/07/05/on-max-neuhaus-the-sound-installation-in-times-square/>

**Figura 35:** Imagen recuperada de: <https://disquiet.com/2014/02/16/disquiet-15-10-5-years-ago-this-week-2014-07/>

**Figura 36:** Imagen recuperada de: <http://www.sulponticello.com/juguetes-del-viento/>

**Figura 37:** Imagen recuperada de: <https://www.ngv.vic.gov.au/essay/celeste-boursier-mougenot-clinamen/>

**Figura 38:** Ídem. figura 37.

**Figura 39:** Imagen recuperada de: <https://viajesoceanic.com/europa/espana/san-sebastian/el-peine-del-viento/>

**Figura 40:** Imagen recuperada de: <https://designdautore.blogspot.com/2014/01/menashe-kadishman-installation.html>

**Figura 41:** Ídem. figura 40.

**Figura 42:** Imagen recuperada de: <https://www.nationalgeographic.com/archaeology-and-history/archaeology/stonehenge/>

**Figura 43:** Imagen recuperada de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/758854/hotel-de-ecotono-en-biwako-sonido-del-viento-ryuichi-ashizawa-architects>

**Figura 44:** Ídem. figura 43.

**Figura 45:** Ídem. figura 43.

**Figura 46:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 47:** Imagen recuperada de: <https://www.biography.com/news/marilyn-monroe-seven-year-itch-dress-photos>

**Figura 48:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 49:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 50:** Imagen recuperada de: <https://ecomovilidad.net/madrid/como-funciona-ventilacion-tuneles/>

**Figura 51:** Imagen recuperada de: <https://waset.org/publications/3116/ventilation-efficiency-in-the-subway-environment-for-the-indoor-air-quality>

**Figura 52:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 53:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 54:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 55:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 56:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 57:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 58:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 59:** Imagen recuperada de: [http://w20.bcn.cat/webmapaacustic/mapa\\_soroll.aspx#](http://w20.bcn.cat/webmapaacustic/mapa_soroll.aspx#)

**Figura 60:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 61:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 62:** Fotografía de elaboración propia.

**Figura 63:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 64:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 65:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 66:** Imagen recuperada de: <https://www.archdaily.com/567635/concert-hall-blaibach-peter-haimerl-architektur/56995d0e58ece02a500001f-concert-hall-blaibach-peter-haimerl-architektur-photo>

**Figura 67:** Imagen recuperada de: <https://www.archdaily.cn/cn/798386/aldo-amoretti-jing-tou-xia-de-bi-de-star-zu-mu-tuo-bruder-klaustian-yuan-jiao-tang/58136a43e58ece678a000188-peter-zumthors-bruder-klaus-field-chapel-through-the-lens-of-aldo-amoretti-photo>

**Figura 68:** Imagen recuperada de: <https://thenextweb.com/gadgets/2017/04/20/1041980/>

**Figura 69:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 70:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 71:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 72:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 73:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 74:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 75:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 76:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 77:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 78:** Imagen recuperada de: <https://www.>

plataformaarquitectura.cl/cl/758854/hotel-de-ecotono-en-biwako-sonido-del-viento-ryuichi-ashizawa-architects

**Figura 79:** Esquema de elaboración propia.

**Figura 80:** Esquema de elaboración propia.

### ALTAVOCES

- "MAPUGUAQUÉN. The sound of earth" (2014). Altavoces de arcilla en Chile. Recuperado de: <http://www.documentarydesign.com/portfolio/mapuguaquen/> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- "MA-770 Altavoz inalámbrico" (en idioma inglés). Altavoz de hormigón. Recuperado de: <https://www.masterdynamic.com/products/ma770-wireless-speaker-david-adjaye> (Última visita, 28 de junio de 2018)

### CALCULADOR DE MODO ACÚSTICO DE SALA

- "AMROC, THE Room Mode Calculator". Simulador en línea para modo acústico. Recuperado de: <https://amcoustics.com/tools/amroc> (Última visita, 28 de junio de 2018)

### "CLINAMEN versión 2", Céleste Boursier-Mougenot

- "Expositions: Céleste Boursier-Mougenot - clinamen v.2". Centre Pompidou-Metz (sitio web). 2015. En idioma francés. Recuperado de: <https://www.centrepompidou-metz.fr/c-leste-boursier-mougenot-clinamen>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

### ENVOLVENTE HORIZONTAL

- "Las aceras de Barcelona tienen historia" (2018). "El Periódico", artículo en línea. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com/es/barcelona/20180422/historia-aceras-pavimento-barcelona-danae-esparza-ras-de-suelo-6776320> (Última visita, 28 de junio de 2018)

### LECTURAS SOBRE SONORIDAD Y PAISAJE SONORO EN ARQUITECTURA

- "Encuentros Iberoamericanos sobre Paisaje Sonoro" (1997-2018). Centro Virtual Cervantes. Recuperado de: [https://cvc.cervantes.es/artes/paisajes\\_sonoros/default.htm](https://cvc.cervantes.es/artes/paisajes_sonoros/default.htm) (Última visita, 28 de junio de 2018)

- "Queridos arquitectos: el sonido importa" (en idioma inglés). 2015. The New York Times (en línea). Recuperado de: <https://www.nytimes.com/interactive/2015/12/29/arts/design/sound-architecture.html> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- "Resonate Lisbon. Thinking Sound and Space" (febrero 2018). Conferencia. Recuperado de: <https://www.resite.org/events/resonate-lisbon> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- "4 razones de porqué el diseño de sonido es crucial para la buena arquitectura" (en idioma inglés). 2018. ArchDaily (en línea). Recuperado de: <https://www.archdaily.com/892170/4-takes-on-why-sound-design-is-crucial-to-good-architecture> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- RUIZ CARULLA, Martí. "Una invitación a la escucha de objetos y lugares". Lectura MBLandArch, realizada el 9 de febrero de 2017. Vídeo disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/105055>

### OTRAS OBRAS DE INTERÉS

- AROS - juguete urbano, Ciudad de México (México). PALMA Despacho de arquitectos: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/894423/juguetes-urbanos-en-la-ciudad-de-mexico-aros-palma> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- Aeolus (instalación artística). Londres, Inglaterra. Luke Jerram (artista): <https://www.designboom.com/art/luke-jerram-aeolus-wind-sound-sculpture-at-canary-wharf-london/> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- "Cavalry 360°" (Caballería 360°), Inglaterra. NEON Design Studio: <https://www.designboom.com/art/neon-cavalry-360-chesters-roman-fort-musical-instrument-08-22-2017/> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- Pabellón Xilófono, Londres (Inglaterra). pH+ Architects: <https://morewithlessdesign.com/xylophone-pavilion-creando-musica-al-jugar/>



(Última visita, 28 de junio de 2018)

- Capilla Bruder Klaus (Alemania). Peter Zumthor: <https://www.archdaily.com/106352/bruder-klaus-field-chapel-peter-zumthor> (Última visita, 28 de junio de 2018)

- Sala de conciertos de Blaibach (Alemania). Peter Haimerl Architektur: <https://www.archdaily.com/567635/concert-hall-blaibach-peter-haimerl-architektur> (Última visita, 28 de junio de 2018)

**"PEINE DEL VIENTO", Eduardo Chillida (escultor), Luis Peña Ganchegui (arquitecto)**

- "El Peine del Viento de Eduardo Chillida". Recuperado de: <http://peinedelviento.info/>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

**"SHALEKHET", Museo Judío de Berlín, Menashe Kadishman (artista)**

- "Shalekhet – Fallen Leaves. An Installation by Menashe Kadishman". Museo Judío de Berlín (sitio web). En idioma inglés. Recuperado de: <https://www.jmberlin.de/en/shalekhet-fallen-leaves>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

**SONIDO (FÍSICA)**

- "Generador de Tono en línea". Recuperado de: <http://onlinetonegenerator.com/> (Última visita, 28 de junio de 2018)

**"SOUND OF WIND", Ryuichi Ashizawa Arquitecto y asociados**

- "SOUND OF WIND". RAA - Ryuichi Ashizawa Architect & associates (sitio web). En idioma

japonés e inglés. Recuperado de: <http://www.raa-architects.com/prj/2013/soundofwind.html>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

**"STONEHENGE"**

- "Was Stonehenge built for rock music?" (2014). The Guardian (periódico). En idioma inglés. Recuperado de: <https://www.theguardian.com/culture/shortcuts/2014/mar/05/stonehenge-built-rock-music-bluestones-acoustic>

**"TIMES SQUARE", Max Neuhaus**

- "Have you seen the 40-year-old work of art at Times Square?", autor *oligudgeon*. Artículo publicado en 15 de junio de 2017. En idioma inglés. Recuperado de: <https://oligudgeon.wordpress.com/2017/06/15/the-40-year-old-work-of-art-at-times-square/>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

- Micro documental (vídeo de 7'57", 19.3 MB), The Estate of Max Neuhaus. 2002. En idioma inglés. Recuperado de: <http://www.max-neuhaus.info/neuhaus-tsqr.htm>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

- "Times Square", Max Neuhaus. 1977-1992; reinstalado en 2002. Colección Dia Art Foundation. En idioma inglés. Recuperado de: <http://www.max-neuhaus.info/soundworks/permanent/>. (Última visita, 28 de junio de 2018)

**MAPA DE RUIDO DE BARCELONA**

[http://w20.bcn.cat/webmapaacustic/mapa\\_soroll.aspx#](http://w20.bcn.cat/webmapaacustic/mapa_soroll.aspx#)

## BIBLIOGRAFÍA

- DAUMAL i DOMÈNECH, Francesc: Arquitectura acústica. Poética y diseño. Barcelona, Edicions UPC, 2002.

- KANG, Jiang. SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte (editores) . "Soundscape and the Built Environment", (2016). Editorial CRC Press.

- RUÍZ CARULLA, Martí. "Escultura Sonora Baschet. Arxiu documental u classificació d'aplicaciones pel desenvolupament de formes acústiques" (2015). Tesis doctoral. Director i tutor de tesi: Dr. Josep Cerdà i Ferre. Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona.

- SCHAFER, R. Murray, (1977), "The Soundscape : our sonic environment and the tuning of the world", Rochester, Vermont (EE.UU.). Editorial Destiny Books.



# La sonoridad arquitectónica latente bajo nuestros pies

Diseño de paisaje sonoro en espacio público urbano

Tesis para optar al grado de Master en Arquitectura

Autor: Arqto. Sergio Cortés Pizarro

Tutor: PhD. Arqto. Francesc Daumal i Domènech

Co-tutora: PhD. Arqto. Cristina Parda March



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

---

**Escola Tècnica Superior d'Arquitectura  
de Barcelona**

Máster en Estudios Avanzados en Arquitectura - Barcelona

Innovación Tecnológica en Arquitectura

Barcelona, julio de 2018